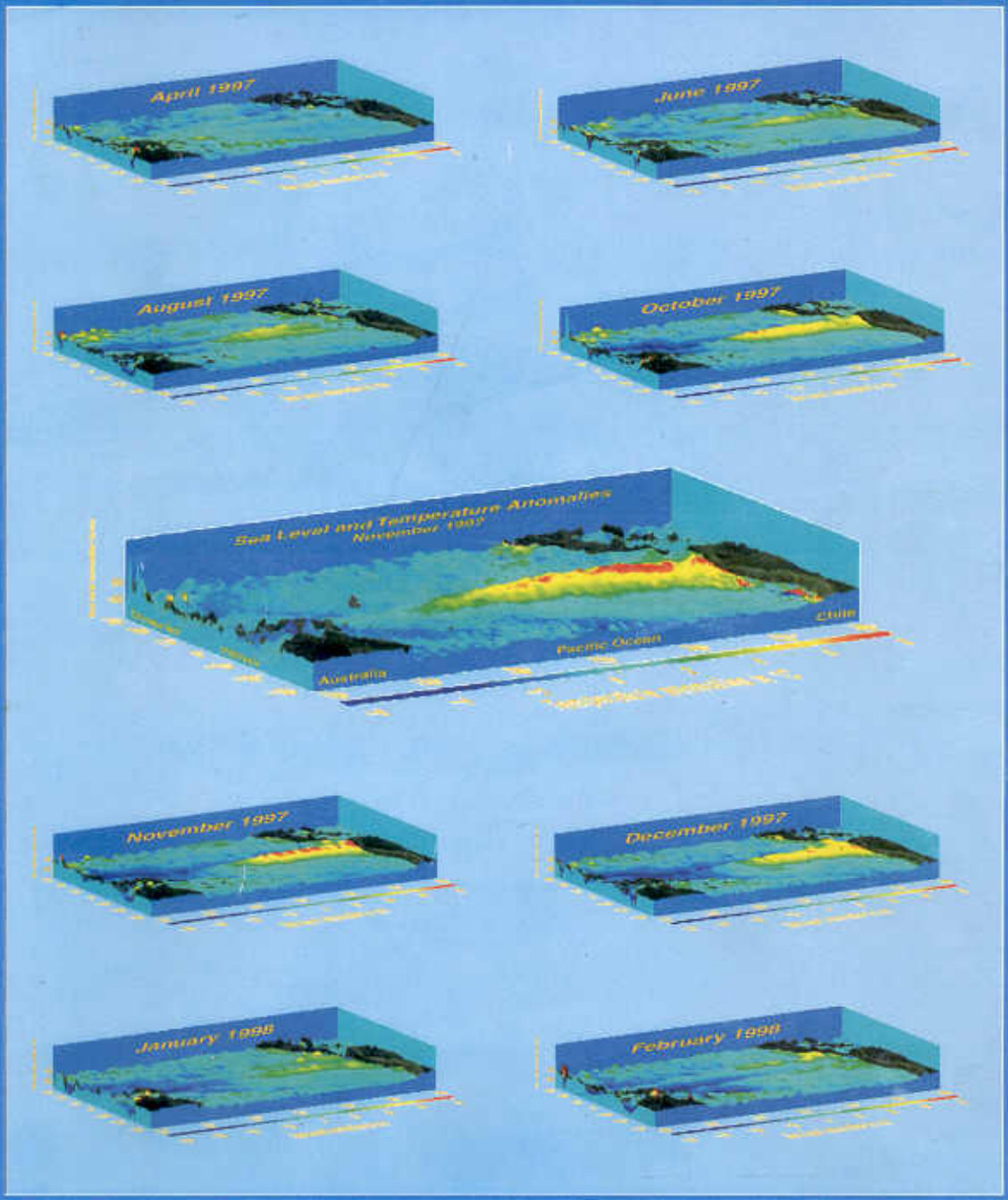
VOL. 13, N° 1-2 JUNIO 1997 ISSN 0717-2915

Revista Journal SELPER

SOCIEDAD LATINOAMERICANA DE PERCEPCIÓN REMOTA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN ESPACIAL
SOCIEDADE LATINO-AMERICANA EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO ESPACIAL
LATINAMERICAN SOCIETY FOR REMOTE SENSING AND SPACE INFORMATION SYSTEMS



CAPITULOS CONSTITUIDOS DE SELPER

CAPITULOS EN FORMACION

CAPITULOS HONORARIOS

SELPER

PLAN EDITORIAL SELPER 1996 - 2000

SOCIEDAD LATINOAMERICANA DE PERCEPCIÓN REMOTA
Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN ESPACIAL

SOCIEDADE LATINO-AMERICANA EM SENSORIAMENTO REMOTO
E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO ESPACIAI

LATINAMERICAN SOCIETY FOR REMOTE SENSING
AND SPACE INFORMATION SYSTEMS

Diagramación y Diseño: *Mauricio Araya F. & Freddy Briceño R.*

AGRADECIMIENTOS - ACKNOWLEDGEMENTS

esa
european space agency
agence spatiale européenne

ESA - ESRIN
Via Galileo Galilei,
Casella Postale 64.
00044 Frascati (Roma).
ITALIA
Tel: (39.06) 94180.1
Fax: (39.06) 94180.280
Att: Sr. Maurizio Fea (América Latina)

ESA - Asuntos Internacionales
8-10 rue Mario Nikis,
75738 PARIS Cedex 15, FRANCIA
Tel: (33.1) 5369.7443, Fax: (33.1) 5369.7627
Att: Sra. Valerie Hood (América Latina)

Revista • Journal

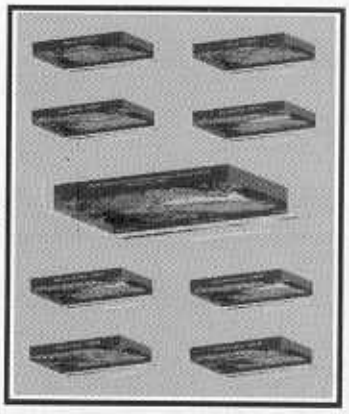
SOCIEDAD LATINOAMERICANA DE PERCEPCIÓN REMOTA Y SISTEMAS DE INFORMACION ESPACIAL • SOCIEDADE LATINO-AMERICANA EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO ESPACIAL • LATINAMERICAN SOCIETY ON REMOTE SENSING AND SPACE INFORMATION SYSTEMS

SELPER

VOL. 13, Nº 1-2 JUNIO 1997 ISSN 0717-2915

FOTO PORTADA:

La historia del evento El Niño de 1997-1998 está visualizada a través de los datos del radar altímetro (RA) del satélite ERS-2 de la ESA. Las ocho imágenes pequeñas muestran como se desarrolló y terminó la anomalía (en color amarillo y rojo) en la altura del Océano Pacifico entre la Australia y las costas de los países americanos. Esta anomalía se genera por una moderación anómala de los vientos alisios: el radar altímetro de ERS-2 ha medido la progresiva subida de la superficie marina debida al consiguiente movimiento hacia el Este de una gigantesca masa de agua marina del Oeste (de abril hasta noviembre de 1997) y su sucesiva bajada hasta el nivel promedio normal (febrero 1998 - aprovechando de la demora en la publicación). La imagen central muestra el desarrollo máximo de El Niño en noviembre 1997 y ha sido obtenida combinando los datos del radar altímetro (indicando anomalías en altura de la superficie marina de más de 30 cm) y del radiómetro ATSR. En esta imagen los colores amarillo y rojo indican temperaturas anómalas que superan por más de 3 ºC el valor promedio.



DIRECTOR EDITORIAL: Prof. Mauricio Araya - Figueroa
(Vice-Presidente 1980-83, Presidente SELPER 1983-86, Vice-Presidente 1986-89)

Presidente Madero 795 (Ñuñoa). Santiago, Chile.
Tel: (56.2) 696.7583 ; Fax: (56.2) 237.1559

EJEMPLAR DE DISTRIBUCION GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DIRECTORIO SELPER, SEDE VENEZUELA, 1997 - 2000

Instituto de Ingeniería, Centro de Procesamiento Digital de Imágenes (CPDI).
Apartado Postal 40200. Caracas 1040 - A. Venezuela. Fax: (58.2) 903.4780 y 903.4786

PRESIDENTE
Ing. GUSTAVO RUIZ
Venezuela

VICE-PRESIDENTE
Dra. TANIA MARIA SAUSEN
Brasil

VICE-PRESIDENTE
Lic. RAMIRO SALCEDO
Venezuela

VICE-PRESIDENTE
Dr. ROMAN ALVAREZ
México

SECRETARIA GENERAL
Srta. ZAIDA PINTO
Venezuela

TESORERA
Srta. CARMEN GOITIA
Venezuela

COMITE RELACIONES INTERNACIONALES
Dr. ROBERTO PEREIRA DA CUNHA (Brasil)
Director
Ing. ROBERTO RICHARDSON (Chile)
Dra. SOPHIE MOREAU (Bolivia)
Prof. VALENTINO SOREANI (México)
Dra. ALICIA MOREAU (Venezuela)

COMITE EDITORIAL
Prof. MAURICIO ARAYA-FIGUEROA (Chile)
Director
Dr. ROBERTO CASTRO (Chile)
Dra. MYRIAM ARDILA (Colombia)
Dr. JORGE LIRA (México)
Ing. MIGUEL SANCHEZ PEÑA (Argentina)

COMITE DOCENCIA E INVESTIGACION
Dra. CRISTINA SERAFINI (Argentina)
Directora
Dra. TANIA MARIA SAUSEN (Brasil)
Ing. WASHINGTON ODELLA (Uruguay)
Prof. FRANCISCO GUERRA (Venezuela)

CAPITULOS NACIONALES SELPER - COORDENAÇOES NACIONAIS SELPER

CAPITULOS CONSTITUIDOS

ARGENTINA:
Dra. María Cristina Serafini, Universidad Nacional de Luján, Depto. Ciencias Básicas (PRODITEL). Rutas 5 y 7, (6.700) Luján (B). Tel. (54.323) 21030. Fax: (54.323) 25795 / 24385.

BOLIVIA:
Dra. Sophie Moreau, Presidente ABTEMA. Casilla 14248. La Paz, Bolivia. Tel.: (591.2) 359.729 y 355.824 int. 18. Fax: (591.2) 392.307.

BRASIL:
Dra. Tania Maria Sausen, Instituto de Pesquisas Espaciais, INPE, Avda. Dos Astronautas 1758 - P. O. Box 515 (12201) São José dos Campos, SP. Tel.: (55.123) 25.6447; Fax: (55.123) 22.9325.

COLOMBIA:
Ing. Carlos Niño, Asociación de Especialistas en Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica. Carrera 30 Nº 48-51, Edificio CIAF, Oficinas 306 y 310. Tel. (57.1) 368.3666. Fax: (57.1) 368.0945.

CUBA:
Ing. Eloy Pérez-García, Geocuba-Idc. Calle 4 Nº 302, Miramar, Playa E / 3ª y 3ªA. Ap. Postal 606, Mananao 13. Ciudad de La Habana. Cuba. Tel.: (53.7) 29.3592. Fax: (53.7) 33.2869.

CHILE:
Ing. Roberto Richardson V., Tollocas 8815 (Las Condes). Santiago. Tel/Fax: (56.2) 229.7185. Universidad de Santiago, Depto. Ingeniería Geográfica. Tel/Fax: (56.2) 681.1213.

ECUADOR:
Cnel. Víctor A. Medrano, Director Ejecutivo CLIRSEN. Seniergues S/N y Gral. Paz y Miño, 4º piso, Edificio IGM. Aptdo. 8216. Quito. Tel: (593-2) 549-472 y 542-700. Fax: (593-2) 581-066.

MEXICO:
Dr. Valentino Soreani, Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM. Apartado Postal 20-850. 01000, México, D.F. Tel.: (52.5) 622.4339 / 4340 / 4341. Fax: (52.5) 616.2145.

PANAMA
Aura B. Reina, Ministerio de Comercio e Industrias, Dirección General de Recursos Minerales. A.P. 8515. Zona 5, Panamá. Tel.: (507) 36-1820/36-1825. Fax: (507) 36-3173.

PERU:
Ing. Walter Danjoy Arias, ITD (Información, Tecnología y Desarrollo). Libertad Nº 497, Of. 301 (Miraflores). Lima 18. Perú. Tel.: (51.14) 466.097. Fax: (51.14) 454.121 y 440.660.

URUGUAY:
Crnel. Washington Odella, Director Servicio de Sensores Remotos Aeroespaciales, Fuerza Aérea. Brigada Aérea 1, Ruta 101 km. 19. Carrasco - Canelones. Tel.: (598) 600.267 y 611.701 int. 3771. Fax: (598) 616.910.

VENEZUELA:
Ing. Gustavo Ruiz, Jefe Centro Procesamiento Digital de Imágenes (CPDI). Instituto de Ingeniería. Apartado 40.200, Caracas 1040 A. Tel.: (58.2) 962-1124. Fax: (58.2) 962-1025.

CAPITULOS EN FORMACION

COSTA RICA:
M. Sc. Carlos L. Elizondo, Instituto Geográfico Nacional. Aptdo. Postal 2272. San José de Costa Rica CP 1000. Costa Rica. Tel: (50.6) 272.188. Fax: (50.6) 257.5246.

EL SALVADOR:
Ing. Jorge García Escobar, Ministerio de Agricultura y Ganadería. Rep. Los Rosales Pje. 2 Nº 14-C San Salvador, El Salvador.

GUATEMALA:
Ing. Carlos Lemmerhoffer A., Supervisor Técnico, Instituto Geográfico Nacional (IGN). 23 Avenida 31-60. Zona 12. Guatemala 01012. Tel: (502-2) 784071. FAX: (502-2) 343412.

JAMAICA:
Ing. Christian Wolffe, College of Arts, Science and Technology. 237 Old Hope Road, Kingston 8. Jamaica. Tel.: (809) 92-71680/8. Fax: (809) 92-71925.

PARAGUAY:
Ing. Facundo S. Recalde Ramos, Servicio Forestal Nacional. Tacuari entre 25 de Mayo y Cerro Corá. Edificio Patria 4, 6º piso. Asunción, Paraguay. Tel: 493793.

REP. DOMINICANA:
Ing. Orlando Adams I., Instituto Geográfico Universitario. Calle El Vergel 57. Santo Domingo, Rep. Dominicana. Tel: 5672823.

CAPITULOS ESPECIALES

ALEMANIA:
Dr. Klaus Reiniger, Deutsche Forschungsanstalt Für Luft-Und Raumfahrt (DLR). D-8031 Oberpfaffenhofen, Deutschland. Tel.: (49.8153) 281.189. Fax: (49.8153) 281.443.

CANADA:
Dr. Fritz P. Dubois, 25 Midland CRS. Nepean ONTARIO KH2 - 8N2. Canada. Tel.: (613) 596-4164. Fax: (613) 723-9626.

ESPAÑA:
Dr. José L. Labrandero, Director Editorial Asociación Española de Teledetección (AET). Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Pinar 25. Madrid 28006. España. Tel: (91) 411.10.98; Fax: (91) 562.55.67.

USA:
Dra. Patricia M. Ravelo, Earth Satellite Corp. (EARTHSAT). 6011 Executive Blvd., Suite 400. Rockville, MD-20852-3804. USA. Tel: (1.301) 231.0660.

FRANCIA:
Dr. Jean-Luc Devynck, Centre National d'Etudes Spatiales (CNES). Chef Dpt. Coopération et Dévelopement. 2, Place Maurice Quentin. 75039 Paris Cédex 01. Francia. Tel: (33.1) 447.67500. Fax: (33.1) 447.67849.

HOLANDA:
Prof. Dr. K. J. Beek / Dr. Carlos Valenzuela, ITC. 350 Boulevard 1945. P.O.X. 6. 7500 AA Enschede, Holanda. Tel.: (31) 53.874.444. Fax: (31) 53.874.400.

ITALIA:
Dr. Maurizio Fea, ESA / ESRIN. Via Galileo Galilei, Casella Postale 64. 00044 Frascati (Roma). Italia. Fax: (39.06) 94180. 280.

JAPON: en formación.

PORTUGAL, KENIA, GANA, NIGERIA, ETIOPIA: Actualmente en formación, a través del Capítulo SELPER Brasil (INPE).

Nota del Director Editorial SELPER: *La actualización de las direcciones es de exclusiva responsabilidad de los Capítulos Nacionales y la Sede Central de Turno de SELPER.*

COMITE EDITORIAL

DIRECCION EDITORIAL

DIRECTOR EDITORIAL

Prof. MAURICIO ARAYA F. (Chile)
Presidente SELPER (1983-1986)
Presidente Madero 795 (Ñuñoa).
Santiago, Chile.
Tel: (56.2) 696.7583, Fax: (56.2) 237.1559

SUBDIRECCIÓN RELACIONES INTERNACIONALES

Dr. Roberto Pereira Da Cunha (Brasil)
Ing. Miguel Sánchez Peña (Argentina)

SUBDIRECCIÓN CIENTÍFICA (1995 - 1997)

Dr. Luis A. Bartolucci (EE. UU. / Bolivia)
Dr. Paulo Roberto Martini (Brasil)
Dr. Jorge Lira (México)
Prof. Marcelo Campi (Argentina)
Dr. Leonardo Gónima (Colombia)

SUBDIRECCIÓN CIENTÍFICA (1997 - 2000)

Dr. ROBERTO CASTRO (Chile)
Subdirector Editorial
Geodesia Satelital, Fotogrametría, Modelos Digitales de Terreno.
Pontificia Universidad Católica de Chile,
Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal.
Vicuña Mackenna 4860. Santiago, Chile.
Tel: (56.2) 686.5770, Fax: (56.2) 552.0780
E-mail: rcastro@puc.cl

Dra. MYRIAM ARDILA (Colombia)
Sistema de Información Geográfica, Integración de Datos, Normas y Estándares.
Universidad Distrital San Antonio de Caldas
Carrera 69 B Nº 41-50 interior 4 apto 304.
Santa Fe de Bogotá, Colombia
Tel: (57.1) 416.3306, Fax: (57.1) 368.0946
E-mail: mardilat@latino.net.co

Dr. JORGE LIRA (México)
Procesamiento de Imágenes, Reconocimiento de Patrones, Aplicaciones.
Instituto de Geofísica. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
México, D.F., México.
Tel: (52.5) 622.4339, Fax: (52.5) 616.2145

EXPERTOS REVISORES (1997 - 2000)

Dr. JOÃO ROBERTO DOS SANTOS (Brasil)
Dra. THELMA KRUGG (Brasil)
Dra. TANIA MARÍA SAUSEN (Brasil)
Dr. JOÃO ANTONIO LORENZETTI (Brasil)
Prof. MARCELO CAMPI (Argentina)
Prof. JAIME BACKITT (Chile)

COMITE PUBLICACIONES (SELPER-CHILE)

Editor Técnico
Sr. HERNÁN FIGUEROA R.

Diagramación Electrónica
Sr. A. FREDDY RIQUELME R.

Traducción e Interpretación
Prof. MAURICIO ARAYA F.
Srta. ADRIANA VIDAURRE O.

Arte y Diseño
Prof. MAURICIO ARAYA F.
Sr. A. FREDDY RIQUELME R.

ISSN 0717-2915

INDICE TEMATICO

Pag.

- **ESTUDO DE ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL COM IMAGENS TM/LANDSAT NA REGIÃO DO ALTO-MÉDIO PARAÍBA DO SUL**
  Tomoyuki Ohara, Juércio Tavares de Mattos, Jairo Roberto Jiménez Rueda 5
- **AVALIAÇÃO DE MEDIDAS TEXTURAIS NA DISCRIMINAÇÃO DE CLASSES DE USO UTILIZANDO IMAGENS SAR**
  Camilo Daleles Rennó, João Vianei Soares, Antônio Roberto Formaggio, Iedo Bezerra de Sá, Gilberto Cordeiro 12
- **DATA FUSION IN URBAN CARTOGRAPHY**
  Oscar Ricardo Vergara, Ana Lúcia Bezerra Candeias, Maria de Lourdes N. de O. Kurkdjian 19
- **USO DE LA PERCEPCION REMOTA COMO SUBSIDIO PARA INVENTARIOS FORESTALES EN LA AMAZONIA BRASILERA**
  Maria Silvia Pardi Lacruz, João Roberto dos Santos 24
- **O ENSINO DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA ESTUDANTES DE I E II GRAUS: O EXEMPLO DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, SP**
  Tania Maria Sausen, Paulo César Gurgel Albuquerque, Vânia Maria Nunes dos Santos 30
- **RELAÇÕES ENTRE ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (LAI), ÁREA BASAL E ÍNDICE DE VEGETAÇÃO (NDVI) EM RELAÇÃO A DIFERENTES ESTÁGIOS DE CRESCIMENTO SECUNDÁRIO NA FLORESTA AMAZÔNICA EM RONDÔNIA**
  Silvana Amaral, João Vianei Soares, Diógenes Salas Alves, Eliana M.Kalil de Mello, Sérgio A.S. Almeida, Osman F. da Silva, Andréa Maria Silveira 35

Composicón de Textos, Scanner y Películas PostScript:
GCA PUBLICIDAD LTDA.
Catedral 1063, Local 1053. - Fono/Fax: (56.2) 6990323. Santiago, Chile
Editado por: SELPER EDICIONES LTDA.
Presidente Madero 795 (Ñuñoa). Fax: (56.2) 237.1559. Santiago, Chile
Impresión: Colaboración de la Agencia Espacial Europea (ESA / ESRIN)

EJEMPLAR DE DISTRIBUCION GRATUITA — PROHIBIDA SU VENTA

PLAN EDITORIAL SELPER 1996-2000

Después de una lamentable interrrupción en la continuidad de nuestras Publicaciones (por casi 4 años), producto de diferencias internas muy intensas, finalmente este Directorio SELPER 1997-2000, junto a los Coordinadores Nacionales, ha decidido apoyar el Plan Editorial 1996-2000 propuesto por el Prof. Mauricio Araya F. (Director Editorial SELPER), para así llenar de la mejor forma posible este vacío editorial y conservar nuestros números ISSN. Ello, considerando la gran utilidad que representan las Publicaciones SELPER (Revista Científica y Boletín Noticias) para nuestra Sociedad. El Plan Editorial SELPER 1996-2000 básicamente consistirá en:

I. PUBLICACIÓN SEMESTRAL DE LA REVISTA TÉCNICA/CIENTÍFICA SELPER.

Para los años **1996, 1997** y **1998,** se publicará un número único, reuniendo los dos semestres y fechados simbólicamente en Junio de cada año. Así, tendremos: *Vol. 12, Nº 1-2, 1996; Vol. 13, Nº 1-2, 1997; Vol. 14, Nº 1-2, 1998.* Para realizar esta obra, se contó con el valioso patrocinio de la **Agencia Espacial Europea (ESA),** con el especial apoyo del **Dr. Maurizio Fea** *(ESA/ESRIN)* y la **Dra. Valerie Hood** *(Relaciones Internacionales ESA)*, a quienes SELPER agradece en forma especial. También reconocemos el valioso trabajo del Comité de Expertos que conformó los *Volúmenes 1996 y 1997* (*Dr. João Roberto Dos Santos, Dra. Thelma Krugg, Dr. João Antonio Lorenzetti y Dra. Tania María Sausen*, de Brasil); esta iniciativa se decidió en el XVIII Congreso Mundial de la ISPRS en Viena, Julio 1996, con el *Dr. Roberto Pereira Da Cunha*. También agradecemos al grupo de Profesores de la Pontificia Universidad Católica de Chile (conducidos por el *Dr. Roberto Castro*), quienes fueron responsables del *Volumen 1998* y a la *Srta. Cecilia Mosso* (CONICYT, Chile).

Para **1999** está contemplado publicar dos Volúmenes, conteniendo la Primera y Segunda Parte de un Curso Fundamental de Sistemas de Información Geográfico (SIG), escrito por el **Prof. Dr. Shunji Murai** (Presidente ISPRS 1992 - 1996), de la Universidad de Tokio, *Japón*, como una forma de ampliar los horizontes de cooperación internacional de SELPER.

Para el año **2000**, se espera estar plenamente actualizados y publicar dos volúmenes semestrales, financiados por varias agencias patrocinadoras y conteniendo diversos tópicos , como era la tradición normal de estas publicaciones.

II. PUBLICACIÓN SEMESTRAL DEL BOLETÍN NOTICIAS SELPER.

Esta publicación ha demostrado su utilidad para difundir noticias de interés para los Socios, resúmenes de Congresos, Simposios, Cursos, organizados por SELPER y otras instituciones Internacionales, de modo de mantener nuestra Revista/Journal SELPER conteniendo solamente artículos técnicos y científicos. Para **1996, 1997, 1998 y 1999** se publicará un número único, abarcando los dos semestres y fechado simbólicamente en Junio de cada año: *Vol. 9, Nº 1-2, 1996; Vol. 10, Nº 1-2, 1997; Vol. 11, Nº 1-2, 1998; Vol. 12, Nº 1-2, 1999.* Para el año **2000** se publicarán separadamente los dos volúmenes semestrales.

Esperamos contar con el apoyo de todos los Socios SELPER y organizaciones internacionales amigas, para llevar a feliz término este Plan Editorial 1996-2000. Les invitamos a enviar sus contribuciones, ya sea para la Revista SELPER (Vol. 16, Nº 1 y 2, 2000) o para el Boletín Noticias SELPER (Vol. Nº 9, 1996 al Vol. Nº 13, 2000).

Gustavo Ruiz
Presidente SELPER

Ramiro Salcedo
Vice-Presidente SELPER

Mauricio Araya
Director Editorial SELPER

Roberto Castro
Subdirector Editorial

Myriam Ardila
Subdirección Científica

Jorge Lira
Subdirección Científica

NORMAS PARA LOS AUTORES

Los artículos enviados serán sometidos a revisión por los correspondientes Subdirectores Científicos, según la temática indicada para estos integrantes del Comité Editorial. Independientemente de ello, éstos podrán asesorarse adicionalmente por un Experto en el tema, además de solicitar opinión a un Experto del país del Autor, para asegurarse del nivel científico del trabajo, dados los diversos grados de avance técnico-científico de los Capítulos Miembros de SELPER.

Los trabajos aprobados serán publicados en estricto orden, de acuerdo a las fechas de llegada de las diversas contribuciones. Los idiomas oficiales SELPER son: Español, Portugués, Inglés (excepcionalmente podrán admitirse otros idiomas, en especial para el Resumen inicial). El trabajo presentado deberá estructurarse al menos en las siguientes secciones:

a) Título del Trabajo, Nombres de los Autores y Direcciones Completas.
b) Resumen (no más de 150 palabras), indicando al final las Palabras Claves. Deberá incluirse en Español o Portugués, además de Inglés.
c) Introducción o Planteamiento General
d) Objetivos
e) Metodología empleada y materiales
f) Resultados obtenidos
g) Discusión y Conclusiones
h) Bibliografía, indicando: Autores, Año, Título, Revista o medio donde fue publicado (incluyendo Vol. y páginas, cuando corresponda). Serán citadas en el texto indicando el Autor y el Año.

Los Títulos y Subtítulos de cada sección deberán estar claramente indicados (ya sea con numeración o tamaños de letras). Las Tablas, Fotos y Figuras deberán ser suficientemente nítidas para ser publicadas a 1 o 2 columnas, indistintamente. Se recomienda enviar ampliaciones, con el título y leyendas correspondientes.

Es imprescindible enviar una copia en forma electrónica (usando lenguajes universales para textos, tablas, figuras y fotos), además de una copia impresa (hard copy), incluyendo colores cuando corresponda. La extensión total del trabajo (incluyendo textos, tablas, figuras y fotos) no deberá superar las 10 páginas en formato carta o DIN 4. Los trabajos podrán enviarse al Director Editorial o a los Subdirectores Científicos, en las direcciones indicadas en la página del Indice temático.

ESTUDO DE ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL COM IMAGENS TM/LANDSAT NA REGIÃO DO ALTO-MÉDIO PARAÍBA DO SUL

Tomoyuki Ohara[1], Juércio Tavares de Mattos[2], Jairo Roberto Jiménez Rueda[3]

[1]INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515, 12201-970, São José dos Campos, SP, Brasil - {ohara}@ltid.inpe.br
[2]FEG/UNESP - Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá
Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333 - Bairro do Pedregulho
12500-000, Guaratinguetá, SP, Brasil - Fax (0125) 32-2466
[3] IGCE/UNESP - Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Caixa Postal 178, 13506-900, Rio Claro, SP, Brasil - Fax (0195) 34-8250

Abstract

This paper presents the principal results of the integrated analysis of homogeneous photogeologic zones of spatials attributes of orbital remote sensing data, with the principals characteristics of the physical environment (Geology, Geomorphology and Soils). Furthermore were considered the data from soils and rock laboratory analysis (physical and chemical) of material collected along weathering profiles, as well as edaphoclimatic informations and morphostructural anomalies. The geoenvironmental zones presents the technical evaluations of water resources, evaluations of land use, regional planning, environmental issues, etc.

Keywords: Remote Sensing, Geoenvironmental zones, Physical environment

1. INTRODUÇÃO

Este estudo foi concebido em função da existência, em nosso território, de extensas regiões sob a influência de climas tropical e subtropical, com índices pluviométricos consideráveis, favorecendo a decomposição das rochas, freqüentemente com consideráveis espessuras de material alterado e com diferentes estágios pedogenéticos, aqui designados coberturas de alteração intempéricas.

As coberturas de alteração intempéricas podem ser entendidas como sendo a resultante da interação de processos exógenos e endógenos, de alteração intempérica na formação de solos.

Os fatores exógenos estão relacionados com o clima, organismos, rochas, relevo, tempo e tectônica; os fatores endógenos correspondem aos ganhos, perdas, transformações e translocações de elementos químicos, ocorridos durante os processos de alteração intempérica.

As características fundamentais geopedológicas associadas às suas propriedades definem os volumes de intemperismo.

As características fundamentais geopedológicas são aquelas relacionadas com a cor, estrutura, consistência e densidade, enquanto as propriedades correspondem ao conhecimento da espessura, dos limites, da capacidade de retenção d'água e da profundidade radicular no perfil de alteração.

2. A ÁREA DE ESTUDOS

A área de estudos tem o formato de um paralelogramo, devido ao imageamento da superfície da Terra e rota do satélite Landsat, associado ao tempo de coleta de dados imageados.

Os limites dessa área correspondem aproximadamente, com as coordenadas de 22°35' a 23°35' de latitude sul e de 44°50' a 45°55' de longitude oeste de Greenwich, perfazendo uma superfície aproximada de 9.000 quilômetros quadrados (Fig. 1). Abrange partes da serra da Mantiqueira, da serra do Mar, incluindo a região litorânea e a bacia do rio Paraíba do Sul.

Para o presente estudo adotou-se a classificação do clima que considera a efetividade da precipitação, a qual é o índice de umidade do clima obtido por cálculo que leva em conta o total de chuvas e as temperaturas, na mesma fórmula matemática.

Dessa forma, com o mesmo total de chuvas, o clima é mais úmido onde as temperaturas são mais baixas, pois a evapotranspiração é menor, sobrando mais água para a decomposição das rochas, erosão e lixiviação do solo, alimentação das águas subterrâneas e suprimento de água na vegetação.

Na região do alto-médio Paraíba do Sul tem-se a caracterização dos seguintes tipos climáticos segundo a efetividade da precipitação (Fig. 2), determinados por Jiménez et alii (1989b):

Ccw - abrange o vale do rio Paraíba do Sul, ocupando cotas altimétricas que variam entre 500 e 800 metros, caracterizado por clima úmido sem estiagem segundo a efetividade da precipitação e subtropical em relação ao aspecto térmico;

Ccr - corresponde as cotas altimétricas que variam entre 800 e 1.000 metros e, é definido pelo clima úmido com estiagem no inverno e pelo aspecto térmico subtropical;

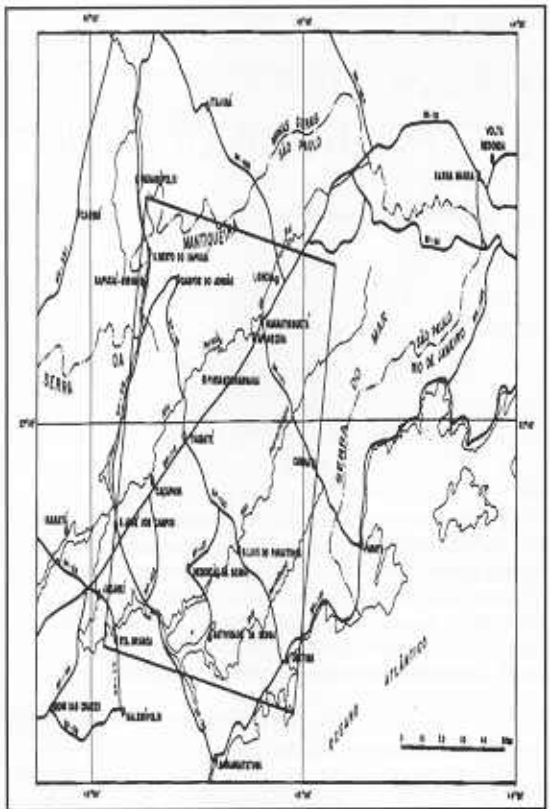


Figura 1 - A área do polígono estudado e as principais cidades e rodovias.

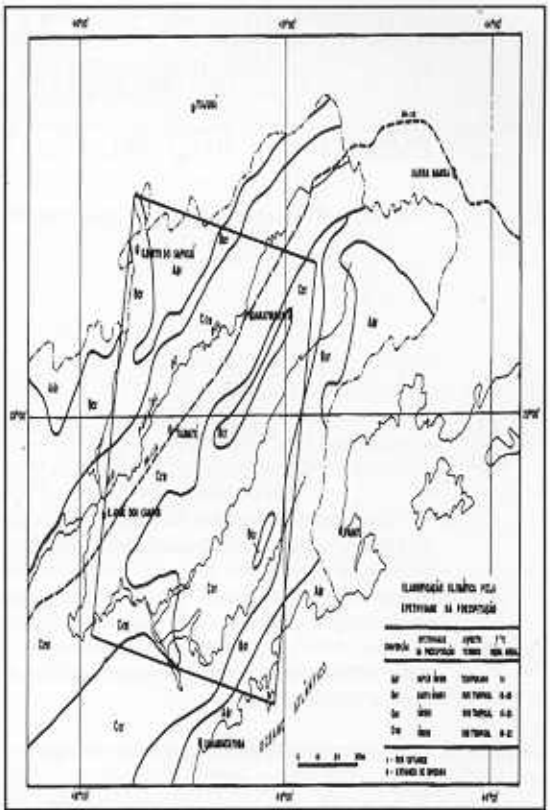


Figura 2 - Os tipos climáticos considerando-se a efetividade da precipitação (Jiménez et alii, 1989b).

Bcr - este tipo climático é considerado como muito úmido, subtropical a temperado, ocupando cotas entre 1.000 e 1.200 metros de altitude, e considerada como zona transicional entre a prémontana e a montana, ocorrendo ao longo das vertentes das serras do Mar e da Mantiqueira;

Adr - abrange o tipo climático superúmido e o aspecto térmico temperado, ocorrendo na região de montanha com altitudes superiores a 1.300 metros.

Os aspectos climáticos do solo foram avaliados por Jiménez et alii (1989b), em função da temperatura e do armazenamento de água ou período de seca na seção-controle do solo, de acordo com o Soil Taxonomy (1975) e, em função de dados de precipitação/evaporação. Foram estabelecidos quatro regimes de umidade, cuja distribuição se ajusta com a macro subdivisão climática da região (Fig. 3):

a) regime áquico - distribuído nas imediações do vale recente do rio Paraíba do Sul;
b) regime ústico - ocupa o paleovale do rio Paraíba do Sul e as partes baixas das vertentes das serras da Mantiqueira e do Mar;
c) regime údico - encontra-se distribuído na região correspondente à zona pré-montana;
d) regime perúdico - associado à zona montana.

3. SISTEMÁTICA ADOTADA

O mapa de zonas e subzonas geoambientais da região do alto-médio Paraíba do Sul (Ohara, 1995) foi o resultado da análise integrada de zonas fotogeológicas homogêneas de atributos espaciais em produtos de sensoriamento remoto orbital, com as principais características do meio físico, principalmente de fisiografias, litologias e solos, associados com as informações edafoclimáticas e morfoestruturais.

As zonas geoambientais são regiões delimitadas por rupturas de declive, geralmente associados aos limites litológicos e/ou geológicos e eventualmente a limites erosivos, e descontinuidades estruturais (discordâncias e falhamentos).

As zonas geoambientais foram subdivididas em função de algumas variáveis, que condicionam a configuração dasa formas de relevo e seus respectivos graus de alteração intempéricos.

As variáveis consideradas foram os tipos de paisagens ou unidades fisiográficas, o grau de dissecação, diferenças edafoclimáticas, anomalias morfoestruturais e morfometria.

As zonas geoambientais foram caracterizadas em função de processos específicos de alteração intempérica ou do tipo de colóide intempérico predominante (paragênese do colóide).

Esse mapa de zonas e subzonas geoambientais apresenta as potencialidades e o suporte do meio físico, em função dos condicionadores naturais e dos modificadores sócioeconômicos regionais.

4. RESULTADOS

Nesse mapa foram definidos oito zonas e quarenta e sete subzonas geoambientais intimamente relacionadas com as características do meio físico **(Tabela I).**

Numa análise conjunta da **Figura 4** e da **Tabela I,** ambas no final do texto, foi possível fazer as seguintes considerações:

a) o processo de latossolização é dominante nas regiões fisiográficas representadas por planaltos desde muito alto, alto, até o médio;

b) nas regiões fisiográficas de planaltos baixo e muito baixo, o processo de podzolização é dominante, com localizadas áreas de latossolização, como na subzona granitóides migmatíticos (SGTM);

c) nas regiões geográficas do Vale do Paraíba e Costeira não ocorre o processo de latossolização, tendo-se a predominância do processo de podzolização com localizada cambissolização na subzona granitos gnáissicos finos (SGTX);

d) a única representação do processo de cambissolização ocorreu na subzona granitos gnáissico finos (SGTX), a qual foi delimitada na região geográfica Costeira, região essa representada por planalto muito baixo, fortemente dissecado e com feições texturais/estruturais de escarpas festonadas;

e) as regiões geográficas da Serra da Mantiqueira e do Paraitinga-Paraibuna são dominadas pelos edafoclimas údico e perúdico, caracterizadas pelos tipos climáticos muito úmido e superúmido, com a permanência mais constante da substância água nos solos, favorecendo dessa forma o processo de alteração intempérica durante a maior parte do ano.

Na região da Serra da Mantiqueira tem-se também a influência do edafoclima ústico, principalmente nas áreas de planalto baixo, onde a estiagem de inverno se faz presente, favorecendo a deficiência hídrica nos solos da região, como pode ser atestado pela presença de Cambissolos latossolizados em região com morfoestruturas negativas e positivas e, com litologias de biotita gnaisses e xistos. Outros solos classificados com esse edafoclima ústico foram: Podzólico Vermelho Escuro e Latossolo Vermelho Amarelo;

f) a região do Vale do Paraíba é essencialmente caracterizado pelos edafoclimas ústico e áquico, favorecendo a formação de Cambissolos, Latossolos Vermelho Escuro e Podzólico Vermelho Escuro, provenientes da decomposição de sedimentos flúvio-lacustres, e caracterizando unidades mono a bissialíticas;

g) na região intermediária entre a cidade de Natividade da Serra e a rodovia Osvaldo Cruz (SP-125), a subzona granitóides migmatíticos apresenta-se com uma "discordância geopedológica", devido à presença de falhamento normal orientado para norte-noroeste, individualizando subzonas distintas em sua porção oriental (SGTM1) e na porção ocidental (SGTM4).

Fazendo-se uma análise integrada, nessa região, das informações fisiográficas, geopedológicas, morfoestruturais e, de unidades e coberturas de alteração intempéricas, verificou-se que o bloco oriental sofreu um abatimento relativo com mergulho aparente para norte-noroeste, atestado pela presença de baixo estrutural na extremidade ocidental da subzona SGTM1.

Essa região do bloco oriental encontra-se representada por uma cobertura latossólica, à semelhança da zona geoambiental ectinitos siltico argilosos (ZGEC), existente mais ao sul.

No entanto, as unidades geopedológicas são diferenciadas, sendo que a subzona SGTM1 é representada por Cambissolo latossolizado e a zona ZGEC por Latossolo Vermelho Amarelo em região de alto estrutural. Essa situação sugere uma retomada pós-falhamento, no processo geopedogenético regional dos latossolos outrora existentes;

h) caso semelhante ocorreu na região entre a cidade de Paraibuna e a represa do Paraitinga-Paraibuna, onde também foi identificado um falhamento normal orientado para norte-noroeste, com o bloco ocidental (subzona SGTM3) abatido em relação ao bloco oriental (subzona SGTM4) e, com mergulho aparente para sul-sudoeste, sentido inverso do caso anterior.

As linhas de formas não-cotadas do bloco ocidental apresentam-se conformando diversas morfoestruturas negativas fechadas e parcialmente fechadas, as quais indicam um ambiente redutor e uma hidrólise

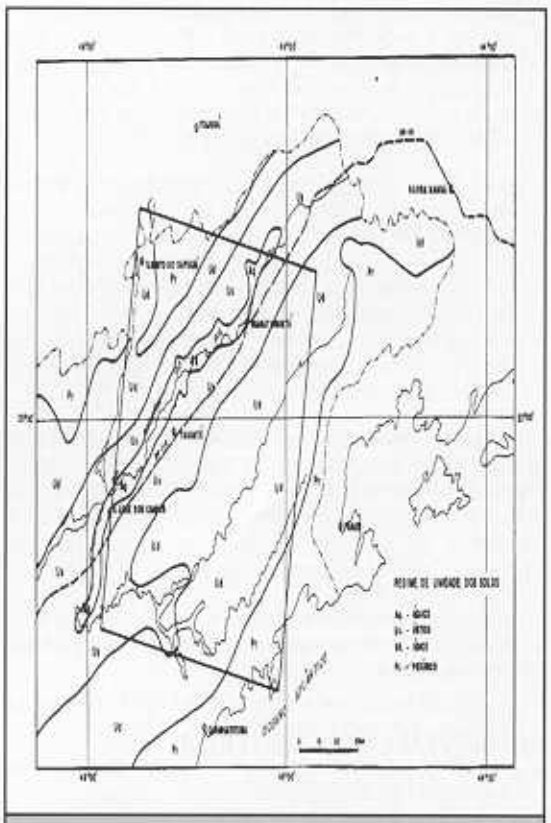


Figura 3 - Os regimes de umidade dos solos (Jiménez et alii, 1989b).

parcial, atestados pela presença de Cambissolo latossolizado e Podzólicos Vermelho Amarelo.

Fato interessante é a associação inversa das coberturas de alteração intempéricas com esses solos, visto que o Cambissolo latossolizado foi classificado como uma cobertura latossólica e com unidade de alteração intempérica alítica, enquanto que o Podzólico Vermelho Amarelo/Escuro foi classificado como cobertura podzólica-cambissólica e com unidade de alteração intempérica bissialítica, sugerindo também uma retomada pós-falhamento, no processo geo-pedogenético dos latossolos outrora existentes;

i) o bloco central, se relacionado com os dois blocos abatidos nas suas extremidades, estruturalmente é um bloco elevado, representado por morfoestruturas positivas alongadas no rumo grosseiramente leste-oeste.

As linhas de formas não-cotadas desse bloco elevado assinalam a superposição de um outro evento com esforços compressivos ortogonais às morfoestruturas positivas, indicando um redobramento no sentido norte-sul.

Nesse bloco elevado e morfoestruturalmente positivo fica provado o processo de latossolização generalizada, com ocorrência localizada do processo de laterização, principalmente nos locais de altos estruturais e altos topográficos. Nessas regiões ocorrem intensos processos de lixiviação dos elementos alcalinos e alcalinos terrosos, os quais favorecem a hidrólise total, com a conseqüente concentração das formas oxídicas dos elementos metálicos do perfil de alteração intempérica;

j) das quarenta e sete subzonas individualizadas na região do alto-médio Paraíba do Sul, vinte e duas subzonas (quase a metade) encontraram-se afetados por "trends" de fraturamentos, normalmente relacionados aos diversos sistemas de falhas cisalhantes existentes na área de estudo, os quais resultaram variados graus de intemperismo e, freqüentemente formas de relevo mais antigas e dissecadas.

Abaixo é mostrada a relação das subzonas com os "trends" de fraturamentos; as relações com outras informações temáticas, tais como de fisiografia, de litologia, de solos geopedológicos, de unidades e coberturas de alteração intempéricas e de anomalias morfoestruturais, encontram-se resumidas na Tabela I.

Na região geográfica da Serra da Mantiqueira sete subzonas de três zonas geoambientais foram afetadas por "trends' de fraturas:

1. subzona SMGG1 com os "trends" da falha do Ribeirão da Serra e da falha Jundiuvira;
2. as falhas de Piedade e do Buquira afetaram as subzonas SMGG2 e ZGXG3;
3. subzona ZGXG2 foi afetada pela falha Jundiuvira e por outras estruturas geológicas sem identificações e, no geral, orientadas ao redor da direção leste-oeste;
4. outras estruturas geológicas sem identificações orientadas próximas de leste-oeste, também afetararm as subzonas SMGH2 e SMGT;
5. por fim, a subzona denominada SGND1 foi afetada pela falha do Paiol e por outras estruturas geológicas, também orientadas ao redor de leste-oeste.

Na região geográfica do Paraitinga-Paraibuna foram identificados quinze subzonas afetadas por diversos "trends' de fraturamentos, as quais são relacionadas a cinco diferentes zonas geoambientais e, abaixo relacionadas:

1. a subzona SGNQ está relacionada com a falha do Indaiá;
2. a falha de Natividade da Serra afetou as subzonas SGTD1, SGTD2, ZGEC;
3. a falha de Naitividade da Serra em conjunto com a falha de Cubatão afetou a subzona SGTM4;
4. as subzonas SGNG1, SGTM1, SGTM3 estão relacionadas com as falhas de Taxaquara e de Cubatão;
5. as falhas Serra do Jambeiro e do Rio Comprido afetaram a subzona SGNZ2;
6. as subzonas SGNG2 e SMGX encontram-se relacionadas com a falha de Quebra Cangalha;
7. e, por fim as falhas do Alto da Fartura e de Santa Rita afetaram as subzonas SGNB1, SBNF, SGNZ1 e SBGF2.

k) As zonas e subzonas geoambientais, como foram determinadas, ou seja, por meio de uma avaliação integrada de unidades e coberturas de alteração intempéricas, com outras informações do meio físico, tais como edafoclimáticas, de fisiografias, litologias, solos geopedológicos e morfoestruturais, fornecem importantes subsídios para a definição e prioridades para diversas aplicações:

1. obras de engenharia, tais como implantação de rodovias e grandes edificações são recomendadas em zonas/subzonas com predominância de morfoestruturas positivas e, moderadamente indicadas em áreas com alto e baixos estruturais. Dessa forma as subzonas mais indicadas são SSDL2 e SSDL3, em função da intensa expansão urbana e industrial existente na região do Vale do Paraíba;
2. estudos de recursos hídricos subterrâneos são indicados em áreas com morfoestruturas negativas, onde a circulação d'água é alta e direcionada. Na região do Vale do Paraíba a área mais indicada para estudos para obtenção de recursos hídrico subterrâneos é a região entre as cidades de Pindamonhangaba e Roseira, onde foi detectada uma ampla morfoestrutura negativa, nas subzonas SSDL3 e SSDF;
3. uso agrícola direcionado deve estar relacionado com a alta e média fertilidade atual e potencial, tais como nas áreas com baixo estrutural, como é o caso, também da região entre as cidades de Pindamonhangaba e Roseira, como atestado pela presença nessa região de área-piloto da Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo;
4. planejamento territorial urbano é adequado em áreas com altos estruturais e altos topográficos, como é o caso das regiões de São José dos Campos

(córrego Campestre-Vista Verde), entre Caçapava e Quiririm, Tremembé-Taubaté, nordeste de Pindamonhangaba e noroeste de Guaratinguetá, nas subzonas SSDL3 e SSDL2;

5. proteção ambiental deve estar relacionado com as cabeceiras de bacias hidrográficas, correspondendo normalmente a altos topográficos, como é o caso das serras do Jambeiro (região entre as subzonas SGTP2 e SGNZ2) e do Palmital (região entre as subzonas SMGG1 e ZGXG3), respectivamente ao sul e norte das cidades de São José dos Campos, Caçapava e Taubaté;

6. aterros sanitários para efluentes líquidos e sólidos devem ser indicados em áreas com baixo estrutural e alto topográfico, onde a circulação de líquidos é baixa e direcionada e a percolação é mediana, apesar do grande potencial de erosão da área. Na região de São José dos Campos a área mais indicada situa-se a cerca de 2 a 3 quilômetros ao sul da Granja Itambi, mais especificamente entre o lago da Maranata e a fazenda Capuava.

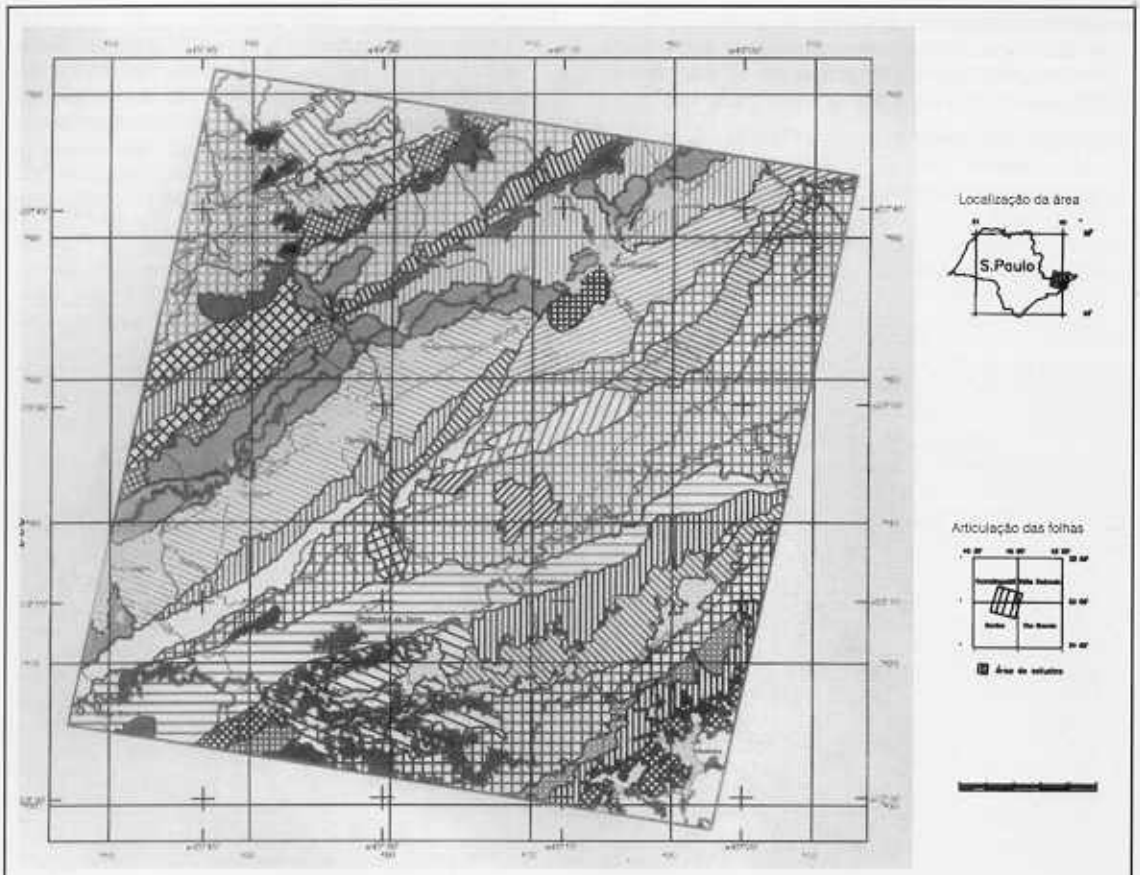
Evidentemente, para a implantação de qualquer dessas aplicações nas áreas aqui mencionadas, deve ser executado outros trabalhos com maiores detalhes e direcionados para cada

TABELA 1

RELAÇÃO DAS ZONAS E SUBZONAS GEOAMBIENTAIS COM AS UNIDADES LITOLÓGICAS (lito), GEOPEDOLÓGICAS (geopedo), DE FISIOGRAFIAS (fisio), DE ALTERAÇÃO (uai) E COBERTURAS (cai) INTEMPÉRICAS, PARAGÊNESE E ANOMALIAS DE MORFOESTRUTURAS (morfo).

zona	subzona	região	lito	geopedo	fisio	morfo	cai	uai	paragênese	observações
ZGBG	SBGE	RSM	gns	LVaud2	PmFdn	baixo	Latos-Podz	Mono-Al	Caul-Glob	
	SBGF1	RPP	grl	LVaud4	Pmmdn	alto-baixo	Latos-Podz-Camb	Mono	Caul	
	SBGF2				Pmmdo					Pequena área próxima a Jambeiro
	SBGF3				Pomdn					Área próxima à Redenção da Serra
	SBGF4			LVaud3	PbFdn		Podz-Camb-Latos	Mono-Bi	Caul-Mont	Granito Apiaí-Itá
ZGGN	SGND1	RSM	bgn	PVapr	Pamdo		Latos-Podz	Al-Mono	Glob-Caul	PaFdo entre as serras da Coimbra e da Água Santa - Falha do Paiol Grande
	SGND2			PVaus2	Pbmdo	monoclinal	Podz-Camb	Bi	Mont	Com textura fina
	SGNM		gmb	Cud2	PaFdc	baixo-alto	Latos-Podz-Camb	Mono	Caul	
	SGNX1		bx	LVaus	Pbmdn	alto				Com textura fina
	SGNX2			Clus		baixo-alto	Podz-Camb-Latos	Mono-Bi	Caul-Mont	Com textura fina
	SGNB1	RPP	bgb	LVaud1	PmFdn	alto-baixo	Latos-Podz-Camb	Mono	Caul	PmFdo próx. no Paraitinga e extrem. SW - Falha Alto da Fartura - "Mar de Morros"
	SGNB2			PVaud1	PbFdc	baixo-alto	Podz-Camb-Latos	Mono-Bi	Caul-Mont	"Mar de Morros" - região de Aparecida
	SGNF		bgf		PmFdo					Falha Alto da Fartura
	SGNG1		bgx	PVaud(LVeus/Ud)	PmFdo		Latos-Podz	Al-Mono	Glob-Caul	Pomdo c/ formas arrasadas e < amplitude a SW do Redenção - Falha Taxaquara/Cubatão
	SGNG2			PVaud4	Pamdo		Latos-Podz-Camb	Mono	Caul	Falha do Quebra Cangalha
	SGNO		gnc	Cud1	PmFdo	alto	Podz-Camb-Latos	Mono-Bi	Caul-Mont	PmFdn do NW de Ubatuba até a serra do Indaiá - Falha do Indaiá
	SGNZ1		bgm	PVaud1		monoclinal				Falha Alto da Fartura - serra do Quebra Cangalha
	SGNZ2			PVaud(PVaus)	PbFdo	baixo	Podz-Camb	Bi	Mont	Falha Serra do Jambeiro - serra do Jambeiro
	SGNH1	RC	ch	PVaud1	pai (isolado)	alto-baixo	Podz-Camb-Latos	Mono-Bi	Caul-Mont	
	SGNH2				Pmbmdn					
ZGMG	SMGG1	RSM	meg	PVaud	PmFdo	alto				Sul da serra do Palmital: formas escarpadas baixas - Falha do Ribeirão da Serra
	SMGG2			PVaud2		baixo-alto	Podz-Camb	Bi	Mont	Idem para áreas similares e alongadas a NE da Pindá - Falha do Piodado e do Buquira
	SMGH1		mch	PVaud+Cud	Pmmdn		Latos	Al	Glob	PmFdo - região do Parque Estadual de Campos do Jordão
	SMGH2				Pmmdo					
	SMGT		mat	PVaud			Podz-Camb-Latos	Mono-Bi	Caul-Mont	
	SMGB	RPP	mgb	PVaud2	PbFdn					
	SMGX		mex	Cud1	PaFdo	baixo				Falha da Santa Rita
ZGMC		RSM	cm	CHpr	Pmafdn	alto	Latos-Podz-Camb	Mono	Caul	
ZGXG	ZGXG1		xgn	LVaud2	PaFdn					
	ZGXG2			LVapr2	PmaFdo		Latos	Al	Glob	Falha Jundiuvira
	ZGXG3			Cud3	Pbmdo	baixo-alto	Podz-Camb-Latos	Mono-Bi	Caul-Mont	Falha do Buquira
ZGSD	SSDF	RVP	agai	HGHaq	pai					
	SSDL1		sfl	Cus	pei					
	SSDL2			LVeus		alto				
	SSDL3			PVeus1		alto-baixo				
	SSDM	RC	qm	HPus	pai	baixo				
ZGST	SGTD1	RPP	ydm	PVapr	PaFdo	alto-baixo	Latos-Podz	Mono-Al	Caul-Glob	Falha de Natividade da Serra
	SGTD2			PVaud3	Pbfdo	baixo	Podz-Camb-Latos	Mono-Bi	Caul-Mont	SW de Paraibuna - Falha de Natividade da Serra
	SGTD3			PVaud	Pbfdn		Podz-Camb	Bi	Mont	Serra Branca
	SGTM1		ymp	Cud2	Pamdo	baixo-alto	Latos	Al	Glob	
	SGTM2				Pbfdn					SW de Paraibuna
	SGTM3			PVaeud	Pbmdo		Podz-Camb	Bi	Mont	Paraibuna
	SGTM4			LVaud1		alto	Latos-Podz-Camb	Mono	Caul	Represa
	SGTP1		ygp	PVaud1	Pmmdn		Podz-Camb-Latos	Mono-Bi	Caul-Mont	PaFdo na região da serra Fria ou dos Forros
	SGTP2			PVaud(LVaus)	Pbmdn	alto-baixo				
	SGTX	RC	ygf	Cpr	PmbFdc	baixo-alto	Camb	Bi-Mono	Mont-Caul	
ZGBC		RPP	re	LVapr1	Pamdo	alto	Latos	Al	Glob	Falha de Natividade da Serra

RSM - região da Serra da Mantiqueira; RVP - região do Vale do Paraíba; RPP - região do Paraitinga-Paraibuna; RC - região Costeira.



ZGBG - Zona Geoambiental Biotita Granitos
SBGE - Subzona Granitos Equigranulares
SBGF1 - Subzona granitóides foliados 1
SBGF2 - Subzona granitóides foliados 2
SBGF3 - Subzona granitóides foliados 3
SBGF4 - Subzona granitóides foliados 4

ZGNN - Zona Geoambiental Gnaisses
SGND1 - Subzona Biotica Gnaisses Granodioriticos 1
SGND2 - Subzona Biotica Gnaisses Granodioriticos 2
SGNM - Subzona Gnaisses e Migmatitos Biastomiloniticos
SGNX1 - Subzona Biotita Gnaisses e Xistos 1
SGNX2 - Subzona Biotita Gnaisses e Xistos 2
SGNB1 - Subzona Biotita Gnaisses Bandados 1
SGNB2 - Subzona Biotita Gnaisses Bandados 2
SGNF - Subzona Biotita Gnaisses Finos
SGNG1 - Subzona Biotita Gnaisses Granitóides e Xistos 1 SGNG2 - Subzona Biotita Gnaisses Granitóides e Xistos 2
SGNQ - Subzona Gnaisses e Quartzitos
SGNZ1 - Subzona Biotita Gnaisses Migmatizados 1
SGNZ2 - Subzona Biotita Gnaisses Migmatizados 2
SGNH1 - Subzona Gnaisses com charnoquitos 1
SGNH2 - Subzona Gnaisses com charnoquitos 2

ZGMG - Zona Geoambiental Migmatitos
SMGG1 - Subzona Migmatitos Estromatiticos e Gnaisses 1 SMGG2 - Subzona Migmatitos Estromatiticos e Gnaisses 2
SMGH1 - Subzona Migmatitos Policiclicos Homogêneos c/Charnoquitos 1
SMGH2 - Subzona Migmatitos Policiclicos Homogêneos c/Charnoquitos 2
SMGT - Subzona Migmatitos Estromatiticos com Neossoma Tonalitico
SMGB - Subzona Migmatitos Estromatiticos ou Gnaisses Bandados
SMGX - Subzona Migmatitos Estromatiticos com paleossoma Xistoso

ZMGC - Zona Geoambiental Metaconglomerados
ZMGC - Zona Geoambiental Metaconglomerados

ZGXG - Zona Geoambiental Xisto e Gnaisses
SGXG1 - Subzona Xistos e Gnaisses 1
SGXG2 - Subzona Xistos e Gnaisses 2
SGXG3 - Subzona Xistos e Gnaisses 3

ZGSD - Zona Geoambiental Sedimentos
SSDF - Subzona Sedimentos Fluviais
SSDL1 - Subzona Sedimentos Fluvio-Locustre 1
SSDL2 - Subzona Sedimentos Fluvio-Locustre 2
SSDL3 - Subzona Sedimentos Fluvio-Locustre 3
SSDM - Subzona Sedimentos Marinhos

ZGGT - Zona Geoambiental Granitóides
SGTD1 - Subzona Granitóides a Duas Micas 1
SGTD2 - Subzona Granitóides a Duas Micas 2
SGTD3 - Subzona Granitóides a Duas Micas 3
SGTM1 - Subzona Granitóides Migmatiticos 1
SGTM2 - Subzona Granitóides Migmatiticos 2
SGTM3 - Subzona Granitóides Migmatiticos 3
SGTM4 - Subzona Granitóides Migmatiticos 4
SGTP1 - Subzona Granitóides Porfiróides 1
SGTP2 - Subzona Granitóides Porfiróides 2
SGTX - Subzona Granitos Gnaisssicos Finos

ZGDC - Zona Geoambiental Ectinitos Sílico Argilosos
ZGEC - Zona Geoambiental Ectinitos Sílico Argilosos

CONVENÕES
- Drenagem, Represa e Litoral
- Areas urbanizadas
- Rodovias
- Limite estadual SP-MG
- Limite entre zonas ou subzonas geoambientais

Base planimétrica

Imagem- quadrante TM/Landsat órbita/ponto- quadrante: 218/76-w passagem: 17 de julho de1987 projeção: SGM

Nota de crédito

O mapa de zonas e subzonas geoambientais da região do alto-médio paraíba do sul é resultado do zoneamento obtido com a integração de unidades litológicas, geopedológicas, fisiográficas, de unidades e coberturas: de alteração intempéricas, paragêneses de colóides e anomalias de morfoestruturas.

Figura 4.- Mapa de Zonas e Subzonas Geoambientais da Região do Alto-Médio Paraíba do Sul

atividade de interesse, inclusive com o envolvimento de outras técnicas afins, tais como trabalhos de sondagens geofísicas para o conhecimento, por exemplo da espessura do manto de alteração, nível freático, dentre outras.

5. CONCLUSÕES

Mais uma vez, os produtos e a tecnologia de sensoriamento remoto mostraram a sua viabilidade técnica, dessa vez para o estudo do zoneamento geoambiental em escala regional, relacionado com as informações, obtidas com esses produtos, de temas afins, principalmente de fisiografias, litologias, geopedológicas, de unidades e coberturas de alteração intempéricas e de anomalias morfoestruturais.

A sistemática metodológica executada mostrou-se bem planejada, com suas atividades interrelacionadas e, dependentes de uma perfeita discriminação e definição das zonas fotogeológicas homogêneas, obtida pelo estudo integrado dos atributos espaciais de produtos de sensoriamento remoto orbital, por meio da análise do arranjo textural de elementos de relevo e drenagem.

Essa interrelação das atividades foi bastante interessante, visto que os resultados parciais obtidos nas diversas fases da sistemática, foram integradas com razoável facilidade, tanto para a obtenção do mapa de unidades e coberturas de alteração intempéricas, como do mapa de zonas e subzonas geoambientais da região do alto-médio Paraíba do Sul.

A delimitação e cartografia de unidades e coberturas de alteração intempéricas com o uso de sensoriamento remoto orbital, como realizado na região do alto-médio Paraíba do Sul, é um fato inédito e, em função dessa premissa, possível a modificações e/ou mesmo a erros.

O zoneamento geoambiental do meio físico obtido com sensoriamento remoto orbital pode mostrar-se bastante adequado para os diversos planejadores, com a exposição de subsídios técnicos para a definição e prioridades para estudos de obras de engenharia, de recursos hídricos, uso agrícola direcionado, planejamento territorial, proteção ambiental, dentre outras aplicações relacionadas com o meio físico.

REFERÊNCIAS

Camargo, M.N.; Klant, E.; Kauffman, J.H. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** *Soc. Bras. Ciê. Solo, Campinas, 12(1): 11-33. (Separata do Bol. Inf.). 1987.*

Gonçalves, J.M.M. **Caracterização das coberturas de alteração e suas aplicações na região entre os municípios de Analândia, Itirapina e São Carlos (SP).** *Rio Claro, UNESP, IGCE, 176 p. (Dissertação de Mestrado). 1993.*

Jiménez, R.J.R. **Índice de intemperismo e suas relações com feições morfoestruturais e texturais das imagens de satélite.** *Rio Claro, UNESP, IGCE, Dep. Min. Rec. Minerais. (Monografia datilografada) 1980.*

Jiménez, R.J.R.; Mattos, J.T. de; Teixeira, J.A.; Malagutti Filho, W.; Sepe, P.M.; Eiis, V.R.; Rigo Júnior, L. **Condições geopedológicas da região de Piracicaba em áreas ocupadas pela usina Costa Pinto S/A Açúcar e Álcool.** *Piracicaba, Us. Costa Pinto. 1988.*

Jiménez, R.J.R.; Mattos, J.T. de; Malagutti Filho, W. **Estudos integrados para controlar os impactos ambientais de um sistema de irrigofertilização com vinhoto na região centro-leste do estado de São Paulo.** *In: Simpósio Latino-Americano de Percepción Remota, IV., San Carlos de Bariloche, Argentina, 1989. Anais. São José dos Campos, INPE/SELPER, tomo I, p.459-465. 1989a.*

Jiménez, R.J.R.; Pessotti, J.E.S.; Mattos, J.T. de **Uso de sensoriamento remoto no zoneamento agroecológico da região da serra do Mar no estado de São Paulo.** *In: Simpósio Latino-Americano de Percepción Remota, IV., San Carlos de Bariloche, Argentina, 1989. Anais. São José dos Campos, INPE/SELPER, tomo I, p.135-140. 1989b.*

Jiménez, R.J.R.; Mattos, J.T. de; Riedel, P.S. **Estudos correlativos entre respostas espectrais e índices de intemperismo de coberturas de alteração intempéricas.** *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, VI, Manaus, 1990.*

Jiménez, R.J.R.; Nunes, E.; Mattos, J.T. de **Caracterização fisiográfica e morfoestrutural da folha São José de Mipibu - RN.** *Geociências, São Paulo, 12(2): 481-491. 1993.*

Mattos, J.T. de; Jiménez, R.J.R. **Discriminação de matizes de cores em coberturas de alteração intempéricas utilizando o método da Distância Generalizada D2 Mahlanobis.** *In: Simpósio Latino-Americano de Percepción Remota, IV., San Carlos de Bariloche, Argentina, 1989.*

Mattos, J.T. de; Jiménez, R.J.R. **Estudos das correlações entre respostas espectrais e os índices de alteração intempéricas dos maciços rochosos (cristalino) numa região do litoral paulista.** *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, VI., Manaus, 1990. (Trabalho apresentado).*

Melfi, A.J. **Intemperismo de granitos e diabásios no município de Campinas e arredores, estado de São Paulo.** *São Paulo, USP, F.F.C.L., 166 p. 1967.*

Melfi, A.J.; Pedro, G. **Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil - parte I - Caracterização e repartição dos principais tipos de evolução pedogeoquímica.** *Rev. Bras. Geoc., 7(4): 271-286. 1977.*

Melfi, A.J.; Pedro, G. **Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil - parte II - Considerações sobre os mecanismos geoquímicos envolvidos na alteração superficial e sua repartição no Brasil.** *Rev. Bras. Geoc., 8(1): 11-22. 1978.*

Ohara, T. **Zoneamento geoambiental da região do alto-médio Paraíba do Sul (SP) com sensoriamento remoto.** *Rio Claro, UNESP, IGCE, 235 p. (Tese de Doutorado). 1995.*

Queiroz Neto, J.P. **O estado atual dos estudos dos solos brasileiros.** *Bol. Paul. Geogr., 41, p.3-22. 1964.*

Queiroz Neto, J.P. **Solos e paleossolos do estado de São Paulo e suas interpretações paleogeográficas.** *In: Congresso Brasileiro de Geologia, 18., Porto Alegre, 1974. Porto Alegre, SBG, v.3, p.174-181. 1974.*

Queiroz Neto, J.P. **Pedogênese no Planalto Atlântico; contribuição à interpretação paleogeográfica dos solos da Mantiqueira Norte Ocidental.** *São Paulo, USP, Inst. Geogr., 270 p. (Tese de Livre Docência). 1975.*

Riedel, P.S. **Estudo das coberturas de alteração de parte do centro-leste paulista através de dados de sensoriamento remoto.** *São José dos Campos, INPE, 109 p. (Dissertação de Mestrado). (INPE-4849-TDL/364). 1989.*

Riedel, P.S.; Jiménez, R.J.R.; Mattos, J.T. de **Estudo das coberturas de alteração de parte do centro-leste paulista através de dados de sensoriamento remoto.** *In: Simpósio Latino-Americano de Percepción Remota, IV., San Carlos de Bariloche, Argentina, 1989. Anais. São José dos Campos, INPE/SELPER, tomo I, p.640-649. 1989.*

Soil Taxonomy. **A basic system of soil classification of making and interpreting soil surveys.** *USDA. handbook, 436. 754 p. 1975.*

Volkmer, S. **Caracterização mineralógica das coberturas de alteração intempérica da quadrícula de São Carlos (QSC), SP - escala 1:100.000.** *Rio Claro, UNESP, IGCE, 157 p. (Dissertação de Mestrado). 1993.*

AVALIAÇÃO DE MEDIDAS TEXTURAIS NA DISCRIMINAÇÃO DE CLASSES DE USO UTILIZANDO IMAGENS SAR

Camilo Daleles Rennó[1], João Vianei Soares[1]
Antônio Roberto Formaggio[1], Iedo Bezerra de Sá[2]
Gilberto Cordeiro[2]

[1]*INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*
Caixa Postal 515, 12201-970 São José dos Campos, SP, Brasil
{camilo, vianei, formag}@ltid.inpe.br

[2]*CPATSA/EMBRAPA*
Caixa Postal 23, 56300-000 Petrolina, PE, Brasil

Abstract

The texture is an important characteristic used for image visual interpretation. For this reason, the performance of digital classifiers can be improved with texture measurements, specially for high resolution images. However, there is no consensus in the definition of what texture is. Several texture measures can be found in the literature. This work proposes a methodology for texture measures selection that maximize the discrimination between land use classes in SAR images. The used images were SIR-C/X-SAR, L and C bands, and HH, HV and VV polarizations. The results show that the classification based only on the tonal means achieved kappa values slightly higher than 0.50. The use of texture measures improved the classification, obtaining kappa values higher than 0.90, when 15 measures were used simultaneosly. Even when images with only one band and one polarization were used, the kappa values obtained were higher than 0.85, making use of more than 20 texture measures. The results confirmed that texture information in radar image may help the discrimination of agriculture crops.

Keywords:* *Radar image, SAR, SIR-C/X-SAR, texture measures, co-occurrence matrix, discrimination of land use classes.

1. INTRODUÇÃO

A textura é uma importante característica utilizada na interpretação visual de imagens e por esta razão, o uso de medidas de textura pode aumentar o desempenho de classificadores digitais, principalmente em imagens com alta resolução espacial. No entanto, a textura de uma imagem é muito difícil de ser quantificada, uma vez que não há um consenso na definição deste termo, nem tampouco uma formulação matemática precisa. Ao contrário da informação espectral, que descreve a variação do nível de cinza de um *pixel*, a textura contém informações sobre a distribuição espacial dos níveis de cinza de uma região da imagem (Ulaby et al., 1986; Marceau et al., 1989).

Não obstante, muitos autores têm tentado quantificar a textura. Métodos de análise de textura têm sido desenvolvidos usando-se padrões de freqüência (Chen, 1990), estatísticas de primeira ordem (Hsu, 1978; Irons e Petersen, 1981) e estatísticas de segunda ordem (Haralick et al., 1973; Welch et al., 1990).

As medidas de textura podem ou não fazer pressuposições a respeito da natureza da distribuição estatística dos dados analisados. Em geral, nenhuma exigência quanto à forma da distribuição dos dados é feita, podendo, portanto, as medidas de textura serem utilizadas em qualquer tipo de imagem, seja óptica ou de radar.

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o desempenho de medidas de textura na discriminação de alvos agrícolas utilizando-se imagens de radar obtidas a partir da missão SIR-C/X-SAR.

2. MEDIDAS DE TEXTURA

Entre as medidas mais utilizadas, destacam-se aquelas baseadas na matriz de co-ocorrência (Haralick et al., 1973). Cada elemento $P(i, j)_{\Delta x, \Delta y}$ da matriz de co-ocorrência representa a freqüência com que dois *pixels* vizinhos (separados por uma distância de Δx colunas e Δy linhas) ocorrem na imagem, um com o nível de cinza i e o outro com o nível de cinza j. A principal desvantagem

no uso de medidas texturais baseadas na matriz de co-ocorrência é a grande exigência em memória e tempo computacional. Como alternativa, pode-se trabalhar com vetores soma e diferença de níveis de cinza (Weszka et al., 1976; Unser, 1986; Welch et al., 1990). Neste trabalho estão sendo avaliadas as seguintes medidas de Haralick: uniformidade (energia), entropia, contraste, homogeneidade, correlação, chi-quadrado, média do vetor soma, variância do vetor soma, uniformidade do vetor soma, entropia do vetor soma, média do vetor diferença, variância do vetor diferença, uniformidade do vetor diferença e entropia do vetor diferença.

Além das medidas baseadas na matriz de co-ocorrência, outra medida de segunda ordem que reflete, de certo modo, a textura de uma imagem, é a autocorrelação espacial que indica a relação espacial existente entre os *pixels* desta imagem. Neste trabalho, estão sendo testadas as autocorrelações de *lag* 0,1, 1,0 e 1,1.

Outros métodos utilizados para caracterizar a textura de imagens baseiam-se em parâmetros estatísticos de primeira ordem, ou seja, que não levam em consideração a distribuição espacial dos níveis de cinza de uma região da imagem. As medidas de primeira ordem analisadas neste estudo são: variância, coeficiente de variação, assimetria, assimetria da média em relação à mediana e curtose.

Estas medidas de textura, assim como as baseadas em estatísticas de segunda ordem, não são específicas para imagens de radar, uma vez que não consideram nenhum modelo matemático que explique a variação encontrada na imagem. Yanasse et al. (1993), estudando as propriedades estatísticas de imagens SAR, testaram diversas distribuições (K amplitude *multilook*, gamma, raiz da gamma, log-normal, entre outras) para determinar aquelas para as quais seus dados mostraram melhor ajuste. Analisando as estimativas dos parâmetros de algumas distribuições, concluíram que estas poderiam ser utilizadas para discriminar áreas de floresta e não floresta. Particularmente, o parâmetro α da distribuição K amplitude *multilook* parece expressar a variação de textura entre estas duas classes e desta forma pode também ser usado como uma medida de textura. Altos valores de α são indicativos de homogeneidade. Duas estimativas estão sendo avaliadas, uma baseada na distribuição K amplitude *multilook* e outra na distribuição K intensidade *multilook*.

Tabela 1 - Características das imagens SAR

	GR1	GR2	SR
Data	09/04/94	13/04/94	13/04/94
Bandas	L e C	L e C	L e C
Polarizações	HH, HV e V V	HH, HV e V V	HH, HV e V V
Projeção	*Ground Range*	*Ground Range*	*Slant Range*
Ang. de incid.	47,77°	37,97°	37,98°
Esp. na linha	12,5 m	12,5 m	4,19 m
Esp. na coluna	12,5 m	12,5 m	13,32 m
Altitude	220,37 km	219,38 km	219,39 km

3. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende o Projeto de Irrigação de Bebedouro (PIB) localizado na região do Sub-médio São Francisco (9°07'S, 40°18'WGr), Petrolina, Pernambuco. O PIB constitui um mosaico de culturas anuais e perenes com propriedades de 5 a 12 ha (Soares et al., 1988).

Neste trabalho, estão sendo analisadas as imagens referentes a 2 passagens do SIR-C obtidas durante o primeiro experimento (abril de 1994). A **Tabela 1** resume as principais características destas imagens. GR1 e GR2 são imagens *ground range* e SR *slant range*.

Inicialmente, as imagens SR sofreram um processamento multilook a fim de reduzir o speckle e obter elementos de resolução correspondentes a cada pixel da imagem mais ou menos quadrados (12,57 x 13,32 m). Cada conjunto é composto por 6 imagens amplitude discretizadas em 256 níveis de cinza (bandas L e C, polarizações HH, HV e VV).

Simultaneamente ao imageamento feito pelo SIR-C/X-SAR, foi realizado um trabalho de campo visando o levantamento do uso da terra, utilizado como verdade terrestre. Uma legenda foi definida levando-se em consideração a área, a distribuição e a importância de cada classe de uso. Dessa forma, foram definidas 7 classes de uso: uva, melão/melancia, tomate, solo preparado, pasto limpo, pasto sujo/pousio e manga.

Para cada propriedade, foi obtido um overlay (tendo o mapa topográfico do PIB como base), que posteriormente, foi digitalizado e registrado às imagens. Este procedimento garantiu que nenhuma distorção nos níveis de cinza fosse gerada, conservando as imagens no seu formato original.

Em seguida, para cada amostra de cada imagem foram determinadas 25 medidas (14 medidas de Haralick; 3 autocorrelações espaciais; 5 medidas baseadas em estatísticas de primeira ordem; 2 estimadores de α; e a média), totalizando 150 medidas para cada conjunto de imagens analisadas. A **Tabela 2** apresenta a relação de todas as medidas testadas, assim como a abreviatura adotada para cada uma destas medidas.

A utilização de todas as medidas texturais na caracterização de um alvo é impraticável e desnecessária uma vez que a demanda computacional para a extração destas informações seria extremamente elevada.

O desempenho de um conjunto de variáveis pode ser avaliado, por exemplo, através da classificação de amostras. Um conjunto ótimo de variáveis seria aquele que classificasse todas as amostras corretamente. Comumente empregam-se medidas de divergência (distâncias) ou de similaridade no processo de classificação.

Entre as diversas medidas de distância encontradas na literatura, a de uso mais geral (por não considerar

Tabela 2 - Variáveis analisadas

ABREVIATURA	NOME DA VARIÁVEL
con	contraste
cor	correlação
chi	chiquadrado
ent	entropia
hom	homogeneidade
uni	uniformidade
mvs	média do vetor soma
vvs	variância do vetor soma
univs	uniformidade do vetor soma
entvs	entropia do vetor soma
mvd	média do vetor diferença
vvd	variância do vetor diferença
univd	uniformidade do vetor diferença
entvd	entropia do vetor diferença
aut01	autocorrelação espacial *lag* 0,1
aut10	autocorrelação espacial *lag* 1,0
aut11	autocorrelação espacial *lag* 1,1
v	variância
cv	coeficiente de variação
ass	assimetria
assm	assimetria da média em relação à mediana
cur	curtose
alfaa	α estimado pela K amplitude *multilook*
alfai	α estimado pela K intensidade *multilook*
m	média

qualquer forma específica para a distribuição das variáveis) é a distância euclidiana.

Quando as variáveis são normalmente distribuídas, pode-se utilizar a distância de Mahalanobis ao invés da euclidiana. O uso da distância de Mahalanobis na classificação normalmente traz melhores resultados pois esta avalia não somente a média, mas também a variância e a covariância entre as variáveis envolvidas.

Caso se conheça a verdadeira classe a que pertence cada amostra, pode-se construir uma matriz que relaciona as classes às quais foram atribuídas as amostras com a verdadeira classe a que pertence cada amostra. Esta matriz é conhecida como matriz de confusão ou matriz de erro. Os elementos da diagonal desta matriz representam as amostras corretamente classificadas.

Usualmente, uma classificação é avaliada pela proporção de amostras corretamente classificadas, denominada precisão total, que corresponde à razão entre a soma da diagonal da matriz de confusão (amostras corretamente classificadas) e a soma de todos os elementos desta matriz (número de amostras classificadas). Como alternativa, pode-se avaliar uma classificação através do coeficiente kappa (Rosenfield e Fitzpatrick-Lins, 1986; Hudson e Ramm, 1987; Foody, 1992). Este coeficiente tem a vantagem de levar em consideração todos os elementos da matriz de confusão e não somente os elementos da diagonal.

O kappa assume valores menores ou iguais a 1, podendo inclusive assumir valores negativos. Quando todas as amostras são corretamente classificadas, o coeficiente kappa possui valor 1. Valores de kappa pequenos indicam que a classificação não obteve bons resultados (Landis e Koch, 1977).

Devido às imagens GR1, GR2 e SR não serem co-registradas, fez-se uma análise e seleção de medidas para cada conjunto de imagens separadamente. Dessa forma, o procedimento é descrito apenas uma vez, mas é válido para qualquer um dos 3 produtos utilizados.

Cada conjunto é composto por 6 imagens: 2 bandas e 3 polarizações. Para cada imagem, foram determinadas 25 medidas (14 medidas de Haralick, 3 autocorrelações espaciais, 5 medidas baseadas em estatísticas de primeira ordem, 2 estimadores de α, e a média), resultando em 150 variáveis para cada conjunto de imagens analisado. Como as variáveis apresentam diferentes grandezas, procedeu-se à padronização das mesmas, ou seja, para cada valor foi subtraída a média e o resultado dividido pelo desvio padrão. Desta forma, todas as variáveis passaram a possuir média nula e variância unitária.

Primeiramente, o poder discriminante de cada variável foi determinado adotando-se o coeficiente kappa obtido a partir da classificação das amostras de acordo com cada variável. A variável com maior kappa individual foi a primeira a ser selecionada. Em seguida, buscou-se, entre as 149 restantes, a variável que juntamente com a primeira selecionada apresentou maior kappa. Selecionadas as duas variáveis, procurou-se entre as demais, a que, juntamente com as duas primeiras, apresentou maior kappa. Este processo foi repetido até que um coeficiente kappa igual ou superior a 0,90 foi encontrado. É importante

salientar que após a introdução de uma nova variável, combinações entre as já selecionadas eram testadas a fim de verificar se alguma destas variáveis poderia ser eliminada sem, no entanto, diminuir o valor do kappa.

Pode-se observar que, por esta metodologia, um grande número de combinações deve ser testado até que se selecione o melhor conjunto de variáveis, sem a garantia de que esta combinação seja a melhor seleção a utilizar.

Como o poder discriminante de uma variável depende do modo como os seus valores se distribuem nas diferentes classes analisadas, é possível supor que variáveis com alta variância entre grupos possuam maiores taxas de acerto e portanto maiores valores de kappa. A variância entre grupos é definida por

$$VAR_{entre} = \frac{\sum_i n_i \left(\overline{x}_i - \overline{x}\right)^2}{N}$$

onde $\overline{x}_i$ é a média da variável pára a classe n_i é o número de amostras que compõem a classe i, $\overline{x}$ é a média geral da variável e N é o número total de amostras. Como todas as variáveis foram padronizadas, a média $\overline{x}$ é nula e portanto a variância entre grupos reduz-se a

$$VAR_{entre} = \frac{\sum_i n_i \overline{x}_i^2}{N}$$

Com base na variância entre grupos, pôde-se promover uma pré-seleção de modo a reduzir o número de variáveis testadas. Numa primeira etapa, ordenaram-se as variáveis de acordo com a variância entre grupos apresentada por cada uma delas. A seleção iniciou-se pela variável com maior variância entre grupos. A cada variável selecionada, foram reclassificadas as amostras e determinado o coeficiente kappa. A seleção foi encerrada

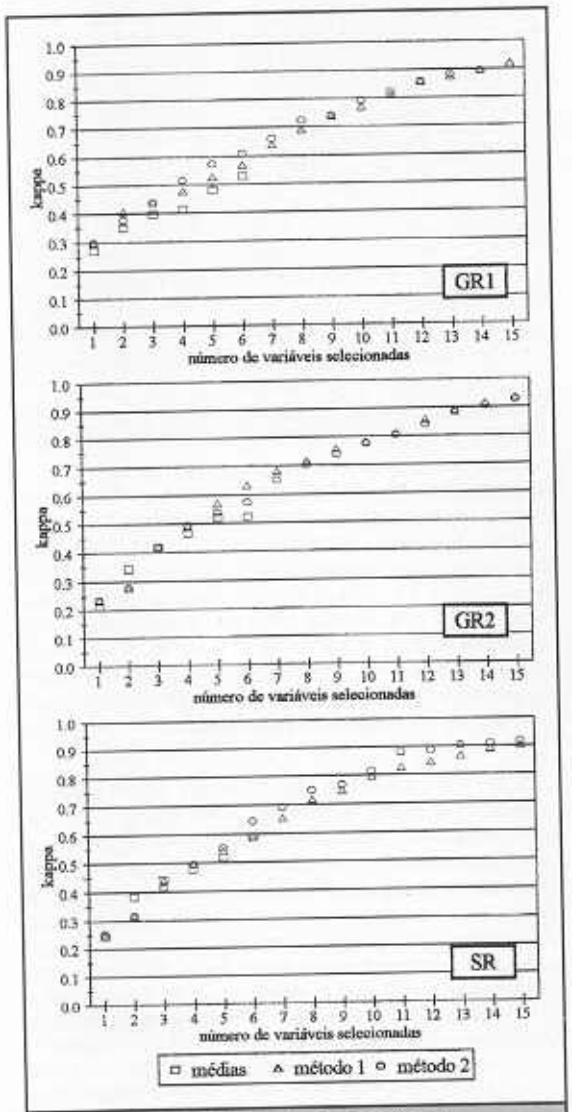


Fig. 1 - Desempenho da classificação.

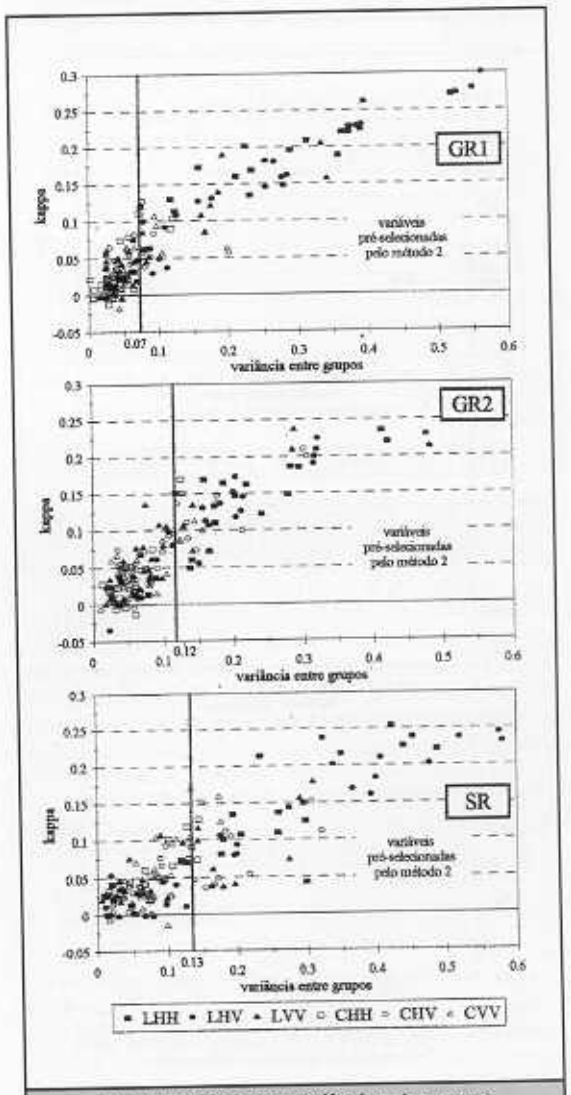


Fig. 2 - Relação entre variância entre grupos e o kappa individual.

quando um kappa igual a 1 foi obtido. Em seguida, procedeu-se à seleção das variáveis do mesmo modo que já havia sido proposto, com a vantagem de não ser necessário testar todas as 150 variáveis.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apesar de algumas variáveis não poderem ser consideradas como sendo normalmente distribuídas, adotou-se a distância de Mahalanobis como regra de decisão no processo de classificação, uma vez que testes preliminares indicaram que o uso da distância euclidiana apresentava resultados muito inferiores aos da distância de Mahalanobis.

O próximo passo foi realizar a seleção das variáveis que melhor discriminaram as classes de uso estudadas. Os dois métodos foram então testados. O primeiro método selecionou as variáveis de acordo com o coeficiente kappa obtido a partir da classificação das amostras. O segundo método fez uma pré-seleção das variáveis, selecionando aquelas que apresentaram alta variância entre grupos.

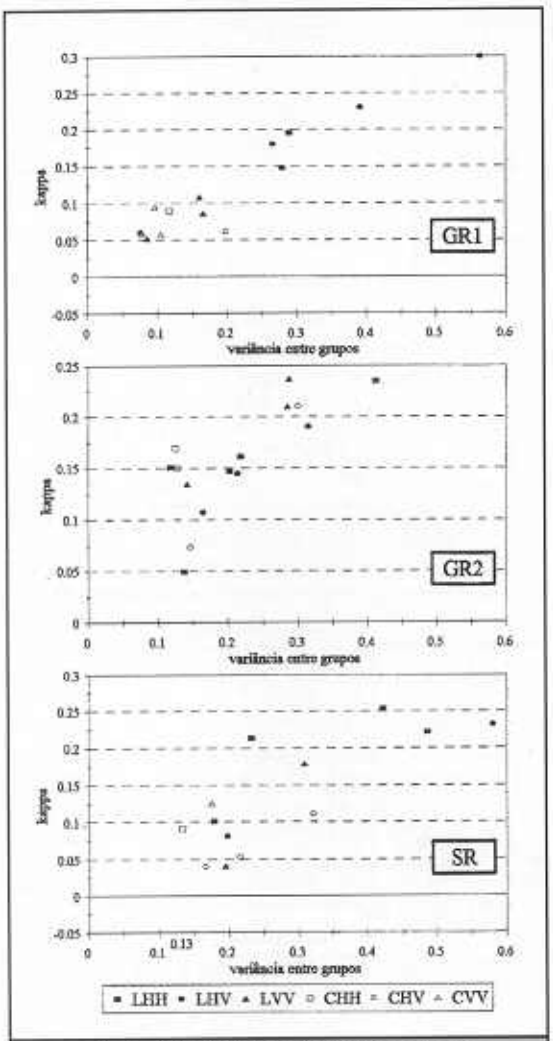


Fig. 3 - Kappa e variância entre grupos das variáveis selecionadas.

Esta pré-seleção reduziu para cerca de um terço o número de variáveis analisadas (64 para GR1, 55 para GR2 e 54 para SR). A classificação, considerando todas estas variáveis pré-selecionadas, apresentou kappa igual a 1. A seleção propriamente dita foi feita do mesmo modo que para o primeiro método.

A **Figura 1** apresenta uma comparação entre os métodos adotados para seleção das variáveis. O desempenho de cada conjunto de variáveis selecionadas é avaliado pelo kappa correspondente à classificação das amostras segundo estas variáveis. Ambos os métodos são comparados com o desempenho de classificação quando somente as médias tonais são consideradas. Pode-se notar que, em alguns casos, quando um pequeno número de variáveis é selecionado, as médias apresentam melhor

Tabela 3 - variáveis selecionadas

GR1	GR2	SR
chiLHH	corLHH	conLHH
entvsLHV	chiLHH	homLHH
entvdLHV	mLHH	mvsLHH
mLHV	assmLHH	curLHH
vLHV	curLHH	mvsLHV
conLVV	conLHV	assLHV
chiLVV	vvsLHV	mvsLVV
homLVV	mvdLHV	vvdLVV
cvLVV	mvsLVV	vvdCHH
mCHH	univdLVV	univdCHV
mvsCHV	mLVV	mCHV
mvsCVV	mvsCHH	cvCHV
univdCVV	mCHH	mvsCVV
entvdCVV	mvsCHV	
cvCVV	assmCHV	

desempenho. No entanto, como cada conjunto de imagens é composto por apenas 6 imagens, tem-se, no máximo, 6 médias selecionadas (1 média para cada amostra de cada imagem) resultando num kappa máximo de pouco mais que 0,5. Este kappa indica uma classificação cuja precisão pode ser considerada apenas moderada (Landis e Koch, 1977). Quando medidas de textura são avaliadas, pode-se chegar a valores de kappa superiores a 0,90 para os casos em que se consideram mais do que 15 medidas simultaneamente.

Os dois métodos de seleção apresentaram desempenho muito semelhante, com ligeira vantagem para o segundo método nas imagens *slant range* (SR). É importante salientar que as variáveis selecionadas por cada um dos métodos não são necessariamente as mesmas. De acordo com estes resultados, pode-se eleger o segundo método como o melhor uma vez que este compara um número menor de variáveis, sendo cerca de 3 vezes mais rápido que o primeiro método. A partir daqui, os comentários serão feitos considerando apenas os resultados obtidos pelo método 2.

A **Figura 2** mostra a relação existente entre a variância entre grupos e o kappa de cada uma das variáveis.

Tabela 4 - Classificação dos produtos utilizando os três conjuntos de variáveis selecionadas

	kappa		
	GR1	GR2	SR
variáveis de GR1	0,91	0,81	0,80
variáveis de GR2	0,82	0,91	0,85
variáveis de SR	0,75	0,82	0,90

Também é indicado, nestas figuras, o valor mínimo de variância entre grupos apresentado pelas variáveis pré-selecionadas. A classificação feita utilizando-se todas estas variáveis pré-selecionadas apresentou kappa igual a 1. Note que grande parte das variáveis é descartada nesta fase. Os maiores valores de kappa e variância entre grupos individuais são provenientes de imagens da banda L. Isto demonstra que pela textura (e também a média) desta banda consegue-se separar melhor as classes de uso estudadas. No entanto, quando apenas as variáveis selecionadas são mostradas **(Figura 3),** pode-se observar que o melhor conjunto de variáveis selecionado não corresponde às variáveis com maior kappa individual, daí o motivo pelo qual, na fase de pré-seleção, não se deve fazer o descarte de um grande número de variáveis.

Todas as imagens contribuiram com pelo menos 1 variável (com exceção da imagem CVV do produto GR2), sendo que as imagens da banda L, de modo geral, foram as que tiveram o maior número de variáveis selecionadas. Para o produto GR1, a maior contribuição textural foi dada pela polarização VV, enquanto que esta mesma polarização para os produtos GR2 e SR foi a que menos contribuiu.

A **Tabela 3** apresenta a relação das variáveis selecionadas por produto. Pode-se observar que, para as classes de uso analisadas, a média foi uma medida muito importante na discriminação, sendo que quase todas as imagens estão representadas pela sua média. Cada produto tem um conjunto distinto de variáveis selecionadas, mas, no entanto, há algumas variáveis altamente correlacionadas: *m* e *mvs*, *entvd* e *mvd*, *univd* e *chi*, *con* e *m*, *vvs* e *v*, entre outras.

A fim de verificar se os diferentes conjuntos de variáveis selecionadas possuem uma relação implícita, procedeu-se à classificação de cada produto utilizando-se todos os 3 conjuntos de variáveis selecionadas. O resultado desta classificação, apresentado na **Tabela 4,** mostra que, de modo geral, um conjunto de variáveis selecionado a partir de um dos produtos pode ser utilizado para classificar outro produto com características distintas e, ainda assim, conseguir um bom resultado. Segundo Landis e Kock (1977), valores de kappa entre 0,61 e 0,80 correspondem a uma boa precisão na classificação.

Até aqui, considerou-se uma análise conjunta de imagens de 2 bandas e 3 polarizações. No entanto, na prática raramente se dispõe de dados SAR multipolarimétricos e em mais que uma banda. Dessa forma, procedeu-se a uma análise de cada imagem separadamente. É importante observar que, agora, há

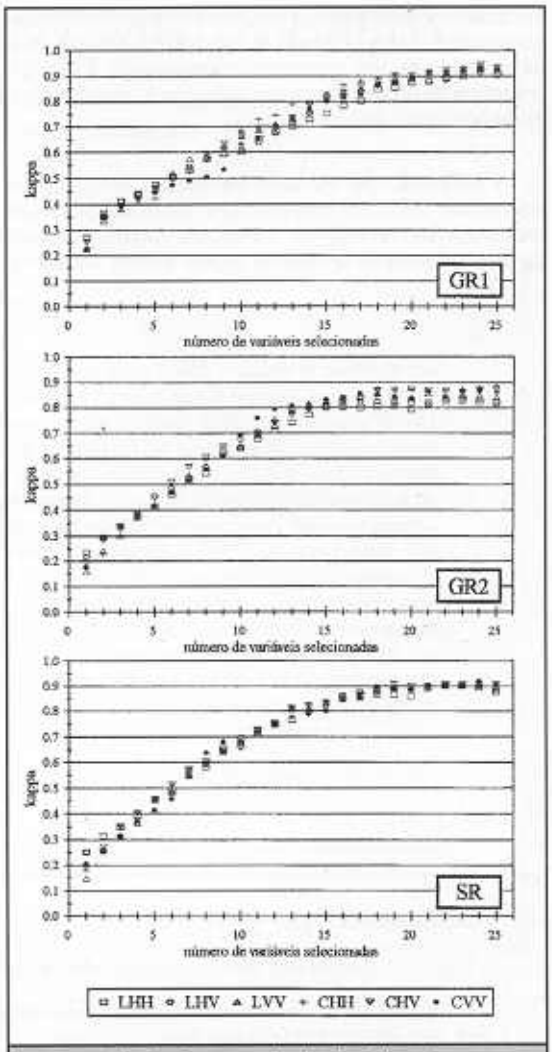


Fig. 4 - Desempenho da classificação, considerando as imagens separadamente.

no máximo 25 medidas de textura para cada imagem. A **Figura 4** mostra o desempenho apresentado por cada imagem quando um determinado número de variáveis é selecionado. Os resultados mostram que mesmo utilizando-se uma imagem de uma banda e polarização, as medidas de textura conseguem discriminar as classes de uso estudadas, conseguindo valores de kappa superiores a 0,85, independentemente da freqüência e polarização utilizada.

5. CONCLUSÃO

Os resultados deste trabalho comprovaram que as medidas de textura melhoram significativamente a precisão da classificação de imagens SAR. No entanto, não há um conjunto destas medidas que se possa generalizar como sendo ideal para estudos de discriminação de alvos agrícolas. Foi mostrado que, pelo menos para o caso estudado, as características próprias

de cada produto testado (projeção e ângulo de incidência) pouco influenciaram na seleção das medidas de texturas, uma vez que um conjunto selecionado para um determinado produto pode ser aplicado, com resultados muito bons, nos demais produtos.

A utilização de medidas de textura em imagens adquiridas em uma freqüência e polarização trouxe resultados surpreendentes. Neste tipo de imagem, que caracteristicamente apresenta baixos índices de acerto quando são utilizados classificadores baseados apenas na informação tonal, pode-se observar, em alguns casos, valores de kappa superiores a 0,90.

Ficou evidente que também a informação tonal foi muito importante para a discriminação das classes de uso, visto que, praticamente em todos os casos, houve a seleção das médias (ou outras variáveis altamente correlacionadas a estas) de todas as imagens testadas.

REFERÊNCIAS

Chen, C.H. ***Texture unit, texture spectrum, and texture analysis.*** *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 28(4):509-512, July 1990.*

Foody, G.M. ***On the compensation for chance agreement in image classification accuracy assessment.*** *Photogram. Eng. & Rem. Sen., 58(10):1459-1460, Oct. 1992.*

Haralick, R.M.; Shanmugan, K.; Dinstein, I. ***Texture features for image classification.*** *IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, SMC-3(6):610-621, Nov. 1973.*

Hsu, S.Y. ***Texture-tone analysis for automated land-use mapping.*** *Photogram. Eng. & Rem. Sen., 44(11):1393-1404, Nov. 1978.*

Hudson, W.D.; Ramm, C.W. ***Correct formulation of the kappa coefficient of agreement.*** *Photogram. Eng. & Rem. Sen., 53(4):421-422, Apr. 1987.*

Irons, J.R.; Petersen, G.W. ***Texture transforms of remote sensing data.*** *Rem. Sen. Env., 11(5):359-370, Nov. 1981.*

Landis, J.R.; Koch, G.G. ***The measurements of observer agreement for categorical data.*** *Biometrics., 33:159-174, Mar. 1977.*

Marceau, D.; Howarth, P.J.; Dubois, J.M. ***Automated texture extraction from high spatial resolution satellite imagery for land-cover classification: concepts and application.*** *In: IGARSS'89 - Canadian Symposium on Remote Sensing, 12., Vancouver, July 10-14, 1989. Proceedings. IEEE, 1989, v. 5, p. 2765-2768.*

Rosenfield, G.H.; Fitzpatrick-Lins, K. ***A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy.*** *Photogram. Eng. & Rem. Sen., 52(2):223-227, Feb. 1986.*

Soares, J.V. et al. ***Microwave remote sensing from a spaceborne platform as a tool to monitore the hydrologic cycle of a floodplain area (várzea) at northeast Brazil.*** *São José dos Campos, INPE, 1988. (INPE-4741-RPE/579)*

Ulaby, F.T.; Kouyate, F.; Brisco, B.; Lee Williams, T.H. ***Textural information in SAR images.*** *IEEE Trans. on Geosc. and Remote Sensing, 24(2):235-245, Mar. 1986.*

Unser, M. ***Sum and difference histograms for texture classification.*** *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., PAMI-8(1):118-125, Jan. 1986.*

Welch, R.M.; Kuo, K.; Sengupta, S.K. ***Cloud and surface textural features in polar regions.*** *IEEE Trans. on Geosc. and Remote Sensing, 28(4):520-528, July. 1990.*

Weszka, J.S.; Dyer, C.R.; Rosenfeld, A. ***A comparative study of texture measures for terrain classification.*** *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern., SMC-6(4):269-285, Apr. 1976.*

Yanasse, C.C.F.; Frery, A.C.; Sant'Anna, S.J.S.; Hernandes, P.F.; Dutra, L.V. ***Statistical analysis of SAREX data over Tapajós - Brazil.*** *In: SAREX-92: South American Radar Experiment, ESA, Paris, Dec. 6-8, 1993. Workshop Proceedings. Paris, ESA, 1993, p. 25-40.*

DATA FUSION IN URBAN CARTOGRAPHY

Oscar Ricardo Vergara[1], Ana Lúcia Bezerra Candeias[2], Maria de Lourdes N. de O. Kurkdjian[3]

Commission VII, Working Group 9

[2,3] INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

C.P. 515 - 12201-970 Sao José dos Campos, SP, Brazil

[1,2] (richard, analucia) @dpi.inpe.br [3] lulu@ltid.inpe.br

Abstract

The set of images of the various operating orbital sensors is not enough to meet all the needs of the users, as there are applications which require high spatial and spectral resolutions. For this reason, aiming at overcoming some original data restrictions, image processing is used to generate improved quality products. Data fusion is the generic name given to techniques which allow to integrate images of different spatial and spectral characteristics in order to obtain synthetic images which have the advantages presented by their components, making the extraction of information easier. In this paper, the processing applied to the original data (panchromatic and multispectral HRV-SPOT images) made the photointerpretation easier as well as the mapping of intra-urban areas, within a methodology of cartographic updating at 1:50,000 scale. Such processing started by applying a high-pass filter to the panchromatic image, to enhance edges. Later the IHS transformation was used, following a methodology which intended to generate a synthetic product preserving the spectral characteristics of the multispectral component, without losing the spatial resolution of the filtered panchromatic image. The results obtained through this processing show that in the synthetic image, the intra-urban areas were considerably improved.

Keywords: ***Remote Sensing, Human Settlement, Updating, SPOT, Resolution, Urban Cartography, Data Fusion.***

1. INTRODUCTION

The set of images of the various operating orbital sensors is still insufficient to solve all the problems of Remote Sensing users, as there are applications that require high resolutions, spatial as well as spectral. An example of this is the urban areas mapping in topographic maps updating, because the current cartographic norms demand greater thematic information than that offered by the original images obtained from the current sensor systems. For that reason it is necessary to use image processing techniques in an attempt to generate products that allow as much extraction of thematic information as possible.

Data fusion is the generic name given to techniques that integrate data sets of different spatial and spectral characteristics, obtained or not by different sensors, aiming at generating synthetic products of improved quality when compared with the original data separately. The images thus obtained have the informative content of the component products, profeting from the advantages presented by each one of them and making it possible to extract more complete and accurate information (Chavez, 1986; Dutra et al., 1988; Kurkdjian et Li, 1989; Brum, 1989; Kurkdjian, 1990; Carper et al., 1990; Candeias, 1992).

In this paper, the IHS transformation technique was used to merge panchromatic and multispectral (BGR 1,2,3) HRV-SPOT digital data generated by INPE and identified in **Table 1.** The image processing was made at SITIM (Integrated System of Image Treatment developped at the same Institute). The resulting product was used to update the intra-urban areas of a topographic map at 1:50,000 scale.

K/J	Mode	Date
717/396	P	03/14/90
717/396	XS	08/18/89

Table 1. Original HRV - SPOT Images identification

The working area was a module of "São José dos Campos" (São Paulo State, Brazil) topographic map at 1:50,000 scale (sheet SF-23-Y-D-II-1) published by IBGE in 1973. This area includes part of the city and is limited by the following geographic coordinates: S23°07'35" and S23°14'06"; W45°52'07" and W45°59'06".

2. METHODOLOGY

The processing applied to the original images aimed at facilitating the photo-interpretation of the intra-urban areas included in the module under study. To do so, the following methodology was applied:

2.1. Filtering

A high-pass isotropic filter was applied to the original panchromatic SPOT image **(Figure 1)** which allowed to gen-

erate an edge enhanced image. The filter used did not produce any image dislocation effect or geometric alteration.

0	0	0	-2	0	0	0
0	0	1	-2	1	0	0
-2	-2	-2	25	-2	-2	-2
0	0	1	-2	1	0	0
0	0	0	-2	0	0	0

Table 2. High-Pass Filter used (Godoy Júnior, 1993).

2.2. IHS transformation

This technique, frequently used to integrate images obtained from different sensors, allows to substitute the Intensity channel of the multispectral component in IHS domain, by a better spatial resolution band.

In this paper, the IHS transformation was applied to generate the synthetic image **(Figure 2)** resulting from the fusion of the multispectral SPOT image with the filtered panchromatic SPOT image. The following procedure was used, aiming at preserving the spectral characteristics presented by the urban areas in the original multispectral image, without loosing the spatial resolution of the panchromatic image previously filtered:

• In RGB domain, the histograms averages of the three multispectral SPOT image bands were read **(Figure 3)**. This multispectral component had been previously resampled in the registration operation with the panchromatic SPOT image.

• These averages were equalized to 128.

• The transformation of this equalized image to the IHS domain was performed.

• The IHS image statistical parameters were read, so that the component I average was 127.45.

• The statistical parameters of the filtered panchromatic SPOT image were read and its average was 40.61.

• This average was equalized to the multispectral SPOT image band I average, which would in turn substitute it.

• The statistical parameters of the filtered panchromatic SPOT image were read and the equalized average was equal to 126.58.

• In the IHS domain, the component I of the multispectral SPOT image was replaced by the panchromatic SPOT image whose average was equalized.

• This synthetic image was transformed from the IHS to the RGB domain.

Figure 1.

Original SPOT-P image

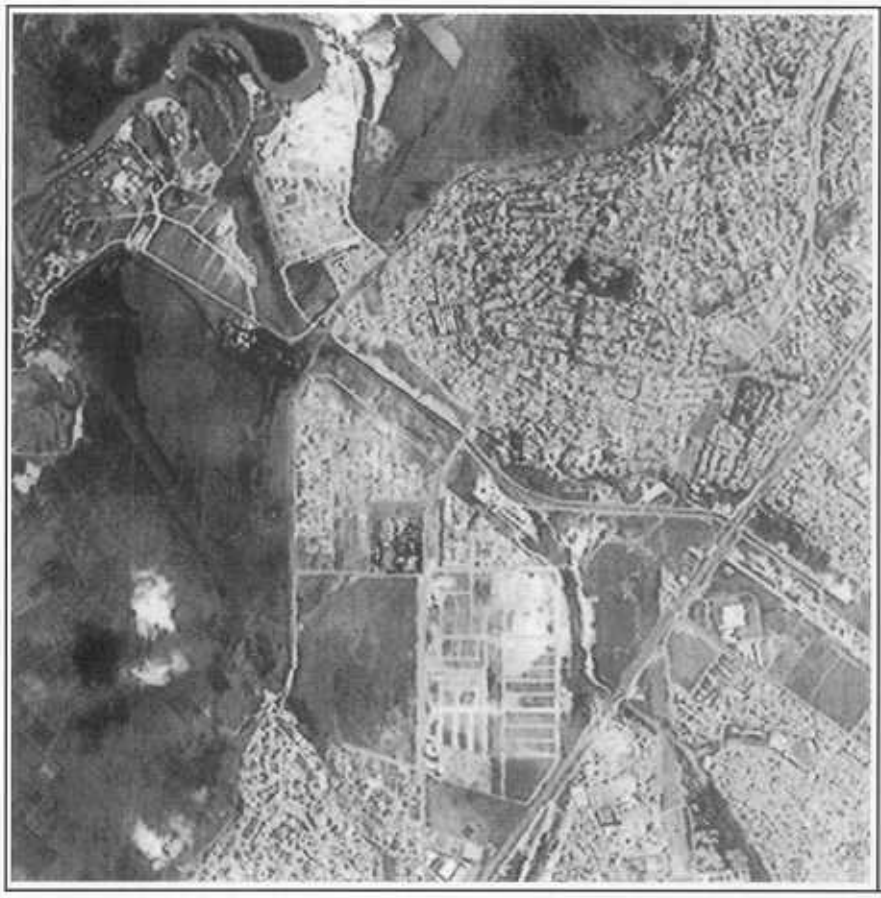


Figure 2.

Synthetic image

• The statistical parameters of the new RGB image were read. They had the following values: Band R=125.00; Band G=125.84; Band B=126.56.

• From each band average, the necessary values were substracted in order to return to the original resampled multispectral SPOT image averages, before the equalization.

• The final synthetic image statistical parameters were read, with the following average values for each band **(Figure 4):** Band R=39.98; Band G=31.83; Band B=41.81.

3. RESULTS

The high-pass filter application, previously described, allowed to refine the original panchromatic image visual quality. The filtered image enhanced the river banks, as well as the intra-urban features of São José dos Campos city and also the roads, bridges and railways.

The comparison between the histograms of the resampled multispeckal SPOT image (Figure 3) and the synthetic image (Figure 4) enables one to see that through the described processing a final image was obtained with spectral characteristics very similar to those of the original multispectral component. However, the synthetic product appeared with a slight alteration in its spectral characteristics, thus originating some shape and size changes of certain features, specially in areas of dense vegetation. This was due to the substitution of the multispectral image channel I by the filtered panchromatic band, as it has a low spectral response to the close infra-red and therefore, in the synthetic image, areas with vegetation as well as other targets which have a high degree of reflectance in the infra-red band, appeared with a somewhat different spectral response as opposed to that of the original multispectral image bands. That results in a certain degree of spectral information loss in those areas. On the other hand, the intra-urban areas were considerably improved.

4. CONCLUSIONS

Based on the results obtained, the following conclusions can be drawn:

A. The edge enhancement obtained through the high-pass filtering of the original panchromatic image, favoured a better discrimination as well as the digitalization of several linear and punctual features which did not appear well defined in the original image, proving to be very efficient to obtain more enhanced synthetic bands.

B. The merging, in the synthetic image, of the spatial resolution of the filtered panchromatic image with a spectral resolution very similar to that of the original multispectral

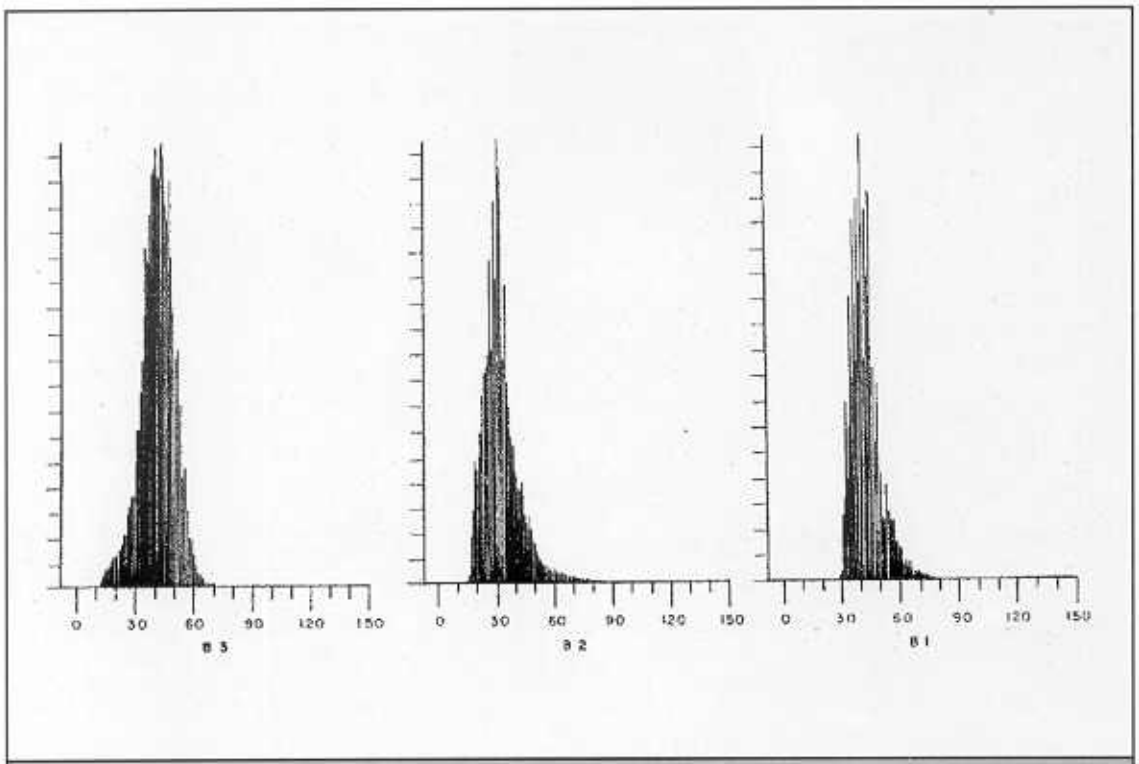


Fig. 3 - Original SPOT-XS bands 3, 2 and 1 histograms

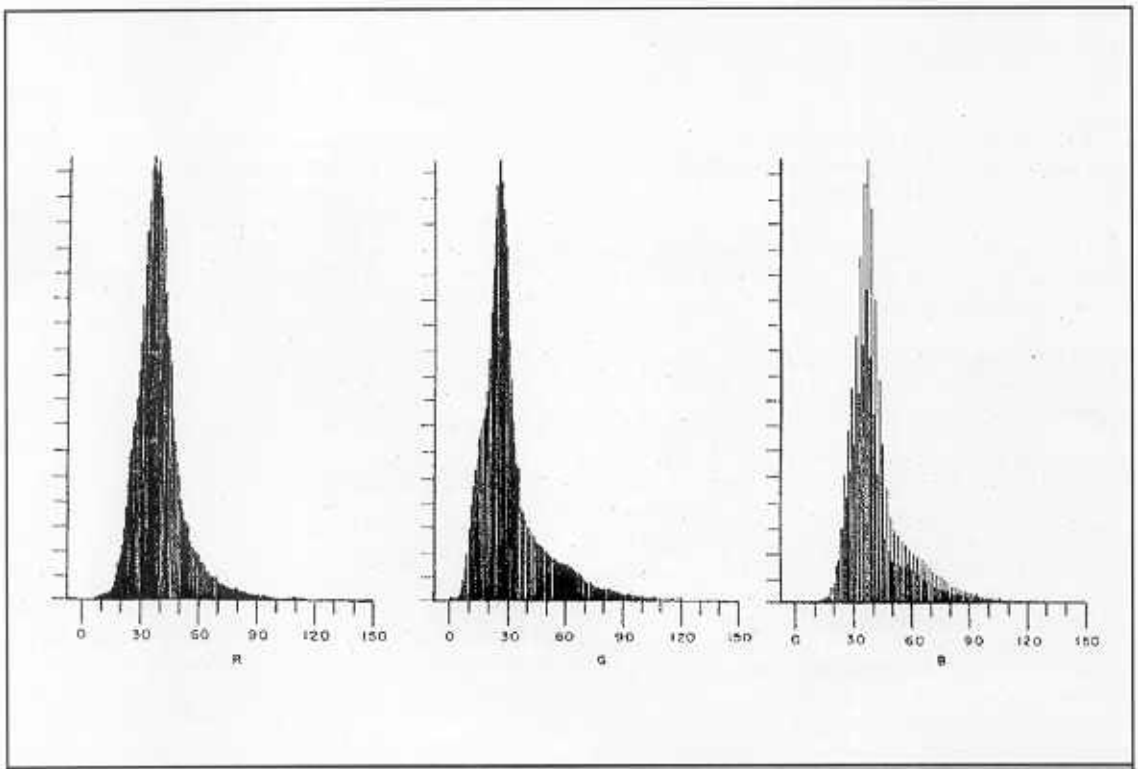


Fig. 4 - Synthetic Image bands R, G and B histograms

Enlargement of Synthetic Image (Figure 2)

component, allowed a better identification and extraction of targets such as industrial areas, urban areas limits, street sections and other intra-urban features.

C. It is interesting to emphasize that in this methodology the original multispectral bands, without altering the contrast nor any kind of enhancement, were used. The original bands histograms, as well as those of the translated original bands to the average value used for the equalization (128) did not exceed the superior limit of 255 to avoid information loss.

5. ACKNOWLEDGEMENTS

The authors acknowledge CAPES (Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) and FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) for their financial support.

REFERENCES

Brum, E.R, 1989. ***Integraçao dos canais multiespectrais e pancromáticos do sensor HRV-SPOT para obtenção de composições coloridas com resolução espacial próxima de 10 m.*** *(Remote Sensing Master Dissertation). INPE-5035-TDI/403, INPE, São José dos Campos, SP, Brazil.*

Candeias, A.L.B, 1992. ***Uso da teoria de estimação bayesiana na fusão de dados de satélites.*** *(Remote Sensing Master Dissertation). INPE-5457-TDI/499, INPE, São José dos Campos, SP, Brazil.*

Candeias, A.L.B.; Vergara, O.R., 1996. ***Data fusion in urban cartography.*** *hipertext. http://www.inpe.br/~analucia/URLib/index.html, URLib.*

Carper, W.J.; Lillesand, T.M.; Kiefer, R.W., 1990. ***The use of Intensity-Hue-Saturation transformations for merging SPOT panchromatic and multispectral image data.*** *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 56(4), pp. 459-467.*

Chavez Jr., P.S., 1986. ***Digital merging of Landsat TM and digitized NHAP data for 1 :24,000 scale image mapping.*** *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 52(10), pp. 1637-1646.*

Dutra, L.V.; Foresti, C.; Meneses, P.R.; Kurkdjian, M.L.N.O., 1988. ***Utilização da transformação IHS para integração de imagens de diferentes resoluções: estudo do uso do solo urbano.*** *In: Proceedings of Brazilian Symposium of Graphic Computation and Image Processing, 1., Petrópolis, RJ, Brazil, 19-20 apr. 1988. INPE4606-PRE/1329, INPE, São José dos Campos, SP, Brazil.*

Godoy Jr., M., 1993. ***High-pass isotropic filter to enhance edges.*** *Personal communication. INPE, São José dos Campos, SP, Brazil.*

Kurkdjian, M.de L.N. de O., 1990. ***Integração de dados de diferentes sistemas sensores através da técnica de transformação IHS, visando o estudo da estrutura intra-urbana.*** *In: Proceedings of Brazilian Symposium of Remote Sensing, 6., Manaus, Brazil, 25-29 jul. 1990. INPE-5 171 -PRE/1640, INPE, São José dos Campos, SP, Brazil.*

Kurkdjian, M.de L.N. de O., li, S.S., 1990. ***Integração de imagem SPOT multiespectral e aerofoto pancromática para estudo do uso do solo urbano.*** *In: Proceedings of Latin American Symposium of Remote Sensing, 4., Bariloche, Argentina, 20-24 nov. 1989. INPE-4967-PRE/1536, INPE, São José dos Campos, SP, Brazil.*

USO DE LA PERCEPCION REMOTA COMO SUBSIDIO PARA INVENTARIOS FORESTALES EN LA AMAZONIA BRASILERA

María Silvia Pardi Lacruz, João Roberto dos Santos

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE Av. dos Astronautas, 1758. 12227-010
São José dos Campos, SP., Brasil.
E-mail: lacruz@ltid . inpe. br jroberto@ltid.inpe.br

Resumen

El presente trabajo tiene como finalidad presentar las técnicas de percepción remota que permiten una mejor discriminación entre los tipos de vegetación de un sector de la Amazonia brasilera, con el objetivo de definir áreas representativas para inventarios forestales en la Estación Científica Ferreira Penna (Caxiuanã), Estado Pará. Para ello, se utilizaron imágenes TM/LANDSAT tanto en formato digital como en papel fotográfico, fotografías aéreas a escala 1:20.000 y datos colectados en campo sobre el medio físico y la composición florística, interelacionados a través del uso de sistemas de información geográfica. Así, basados en los conocimientos del área de estudio obtenidos en el trabajo de campo y con las estimaciones de biomasa, se utilizaron las técnicas de realce, segmentación y clasificación implementadas en el Sistema SPRING, resultando en la separación de tres sub-unidades de bosques de tierra firme, un bosque inundado, dos bosques de galería y dos sub-unidades de vegetación secundaria (correspondientes a diferentes estados de desarrollo).

1. INTRODUCCION

La Amazonia ha sido por mucho tiempo, uno de los mayores puntos de interés de científicos, conservacionistas, productores y políticos. A pesar de este gran interés, existen relativamente pocos trabajos sobre esta extensa región y lo que es peor aún, los trabajos existentes están concentrados en pocas localidades. Esto se debe a la inaccesibilidad del área, así como también a la heterogeneidad y extensión de la misma.

La cuantificación de la vegetación se ha tornado una actividad imprescindible para el planeamiento y monitoreo de áreas forestales, así como para el calculo de biomasa y el modelaje de estimación de carbono en estudios de cambios globales, llevando en consideración que el proceso de antropización oscila en una tasa actual de 14.000 Km²/año (INPE, 1996).

Inicialmente, los inventarios forestales eran elaborados estrictamente a partir de la información colectada en campo; posteriormente estas técnicas de muestreo fueron complementadas con información provenientes de fotografia aéreas y más recientemente con la utilización de datos orbitales, lo que representa una excelente relación costo-beneficio.

En 1993 fue creada la Estación Científica Ferreira Penna, ubicada dentro de la Floresta Nacional de Caxiuana, con el objetivo de desarrollar técnicas apropiadas de manejo forestal. La primera fase de este proyecto prevé, entre otros estudios, el levantamiento de la flora existente en el lugar. Para ello es importante contar con técnicas que permitan obtener información y manipular la información, a fin de poder monitorear y manejar el área en forma eficiente.

El objetivo general de este trabajo es definir áreas representativas para levantamientos fisionómicos-estructurales de la vegetación en la citada Estación Científica, utilizando para ello datos multi-nivel de teledetección: imágenes TM/Landsat, fotografías aéreas y datos de campo. Los objetivos específicos de este trabajo son: identificar las técnicas de realce de imágenes que permitan una mejor discriminación de los tipos fisionómicos-estructural de la vegetación, y adicionalmente verificar la relación estructura - parámetros espectrales.

2. LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

La Estación Científica Ferreira Penna está localizada en el Municipio de Portel, Estado Pará. Geográficamente

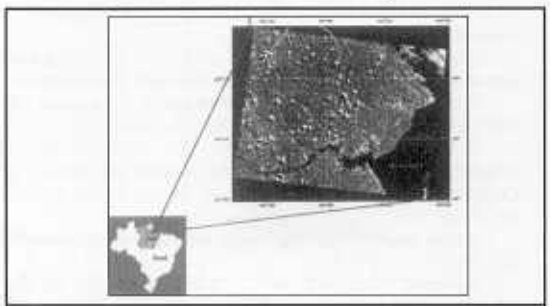


Fig. 1. Localización del área de estudio.

está localizada entre la coordenadas 1° 30' a 1° 50' latitud sur y 51°15' a 51° 45' longitud este. El área tiene una extensión aproximada de 33.000 hectáreas **(Figura 1).**

Esta área presenta una vegetación natural totalmente preservada, con escasas áreas antropizadas debido a la presencia de población riberina. La región se caracteriza por tener un relieve plano a suavemente ondulado, con suelos bien drenados, de estructura maciza y baja fertilidad natural; la vegetación corresponde a un bosque denso, sinónimo de Bosque Ombrófilo Tropical, caracterizada por árboles de gran porte, a veces con individuos de más de 50 metros de altura, que sobresalen del estrato arbóreo uniforme entre 25 y 35 metros de altura. (RADAMBRASIL, 1 974).

Esta gran región ecológica puede ser sub-dividida en dos grandes grupos: bosques de tierra firme, y los bosques inundados y de galería (Pires, 1973). Los bosques de tierra firme se caracterizan principalmente por una alta diversidad de especies, en tanto que los bosques inundados son relativamente pobres en diversidad y biomasa (Braga, 1979), mientras que los bosques de-galería se caracterizan por una biomasa mediana y porte menor que los bosques de tierra firme.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Materiales

Para el desarrollo de este trabajo se utilizó una imagen TM/Landsat en formato digital con la órbita/punto 225/061, cuadrante C, bandas 1 a 5 y 7, de fecha 16 de junio de 1993 sobre la cual se realizó el procesamiento de la imagen utilizando para ello el SITIM (Sistema de Tratamento de Imagens) versión 2.5 y el SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas) versión 1.1, ambos desarrollados por el INPE.

Adicionalmente fueron utilizadas dos imágenes en papel fotográfico: una composición en colores de las bandas 4, 5 y 3 (R,G,B) en escala 1:250.000 para la localización de los puntos a ser muestreados en campo y la segunda corresponde a la banda 4 y en escala 1:100.000, utilizada para determinar las unidades geomorfológicas del área a partir de la delimitación del drenaje y medición de los interfluvios. Además de los productos orbitales, se utilizaron las fotos aéreas del área a escala 1:20.000, obtenidas por el Núcleo de Soporte Aereo del INPE, en julio de 1994 así como material cartográfico y material complementario.

3.2. Metodología

La metodología adoptada para el desarrollo de este trabajo se presenta en la **Figura 2.**

La imagen correspondiente a la banda TM 4 en papel fotográfico, a escala 1:100.000, se utilizó para delimitar las unidades geomorfológicas del área, debido a la inexistencia de un mapa de geomorfología del área de estudio, en una escala detallada. Para esto se delimitó el drenaje del área y posteriormente se midieron los interfluvios, lo que permitió la separación de dos grandes unidades geomorfológicas y tres sub-unidades diferenciadas por la densidad, forma y distribución del drenaje.

El tratamiento de la imagen en formato digital consistió de cuatro pasos básicos: preprocesamiento, realce, segmentación y clasificación. Así, en la etapa de preprocesamiento se realizó la atenuación de los efectos atmosféricos y la corrección geométrica de la imagen. Para atenuar los efectos de la atmósfera se utilizó el método de

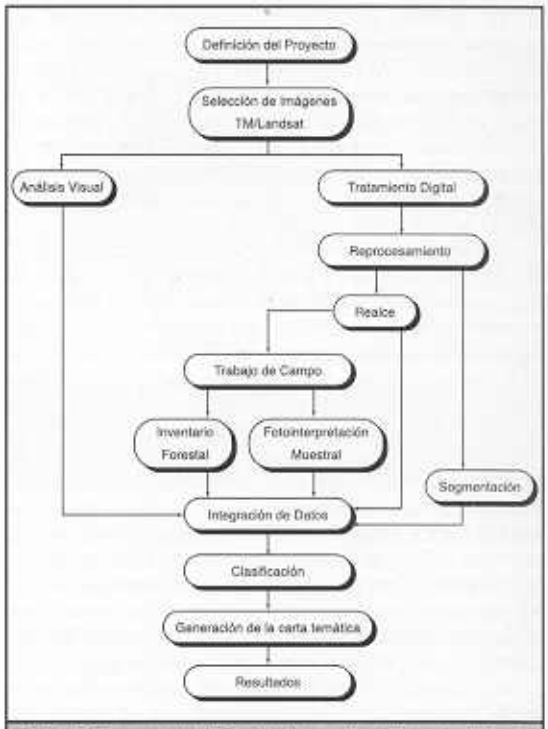


Fig. 2. Diagrama de flujo del desarrollo de la metodología adoptada para la realización de este trabajo. Fuente: Pardi Lacruz, 1996

substracción del pixel oscuro, a partir de los niveles de gris de pixels correspondientes a agua sin sedimentos o a sombra de nubes. La corrección geométrica se realizó a través del método de remuestreo de los pixels en relación a una base cartográfica (Roy et. al., 1991). Posteriormente se utilizó un polinomio de primer grado para realizar el registro de los puntos con respecto a la base cartográfica y luego se realizó el remuestreo de los pixels de la imagen a través del método de vecino más próximo.

En lo referente a realce, las técnicas de aumento lineal de contraste y la transformación por componentes principales se mostraron como las más indicadas para discriminar las diferentes tipologías vegetales presentes en el área. El aumento lineal de contraste se aplicó sobre cada una de las bandas y posteriormente se realizó una composición en colores con las bandas TM 4, 5 y 3 (R, G, B) realzadas.

La transformación por componentes principales se aplicó sobre las bandas originales TM 1 a 5 y 7, a partir de muestras previamente definidas, conforme el procedimiento utilizado por Horler e Ahern (1986). Esta técnica fue utilizada con la finalidad de reducir la dimensionalidad de las bandas disponibles, a través de la redistribución de los datos de las bandas originales en un mismo número de bandas no correlacionadas entre si.

Las bandas correspondientes a las componentes principales fueron generadas con alteración de contraste, es decir, la media de los valores de cada banda fue dislocado para el valor 127 y la parte central de la distribución abarca ± 2,6 desvíos padrones a partir de la media. De esta manera, todas las componentes presentan la misma variancia y los valores de niveles de gris están distribuidos entre 0 y 255 (INPE, 1995).

El algoritmo de segmentación por crecimiento de regiones implementado en el SPRING fue aplicado sobre las bandas TM originales sin realzar. Fueron experimentados diferentes umbrales de similaridad y de área con la finalidad de seleccionar los que permitieran una mejor separación de los diferentes rasgos de la imagen, siendo los umbrales de similaridad y área 4 y 10 respectivamente, los que mostraron un mejor desempeño (Pardi Lacruz, 1996).

En lo que se refiere al trabajo de campo, este consistió en dos etapas: una correspondiente a un vuelo de reconocimiento sobre el área de interés, con la finalidad de comprobar la separabilidad de los diferentes rasgos destacados con los realces y transformaciones aplicadas en la imagen. La segunda fase consistió en el inventario forestal, el cual permitió adquirir información sobre el medio físico y de las características fisionómicas-estructurales de la vegetación. Para cada parcela fueron tomados los siguientes datos: identificación botánica del individuo (familia, género y especie); diámetro a la altura del pecho (DAP) medidos a través de una cinta diamétrica; altura total, estimada subjetivamente; localización del individuo dentro de la parcela, distancia del individuo al inicio de la parcela (x), así como la distancia del individuo a la parcela (y); proyección de la copa: en sentido paralelo (x de la copa) y perpendicular a la línea central de la parcela (y).

A través de la utilización de los pares estereoscópicos obtenidos, se realizó una fotointerpretación muestral, con la finalidad de estudiar la variación espacial del dosel y auxiliar en la selección de muestras de entrenamiento de la clasificación supervisada. Así las áreas que presentaban una mayor complexidad para discriminar entre los tipos de cobertura vegetal en las imágenes digitales, fueron localizadas y posteriormente analizadas aisladamente en las fotografías aéreas.

La siguiente etapa metodológica consistió en la integración de los datos resultantes del análisis visual, del tratamiento digital de las imágenes y del trabajo de campo, para lo cual se utilizó el SPRING. La integración de los diferentes planos de información permitió delimitar con mayor precisión las muestras de entrenamiento y de test utilizadas en el proceso de clasificación supervisada.

La clasificación de la imagen se realizó en base el algoritmo según la máxima verosimilitud (Hopkins et al., 1988) sobre las bandas originales TM 3 a 5 y 7. Las bandas TM 1 y 2 no fueron utilizadas por presentar striping, solamente perceptible en la imagen clasificada resultante. Fueron seleccionadas muestras de entrenamiento y de test a partir del conocimiento previo del área (trabajo de campo y vuelo de reconocimiento), de la interpretación muestral de las fotos aéreas, de los realces y la segmentación aplicados sobre la imagen digital y a partir de la homogeneidad interna de cada clase en la escena.

Posteriormente se analizó el desempeño de cada una de las muestras de entrenamiento y de test seleccionadas y fueron eliminadas aquellas que presentaron un bajo

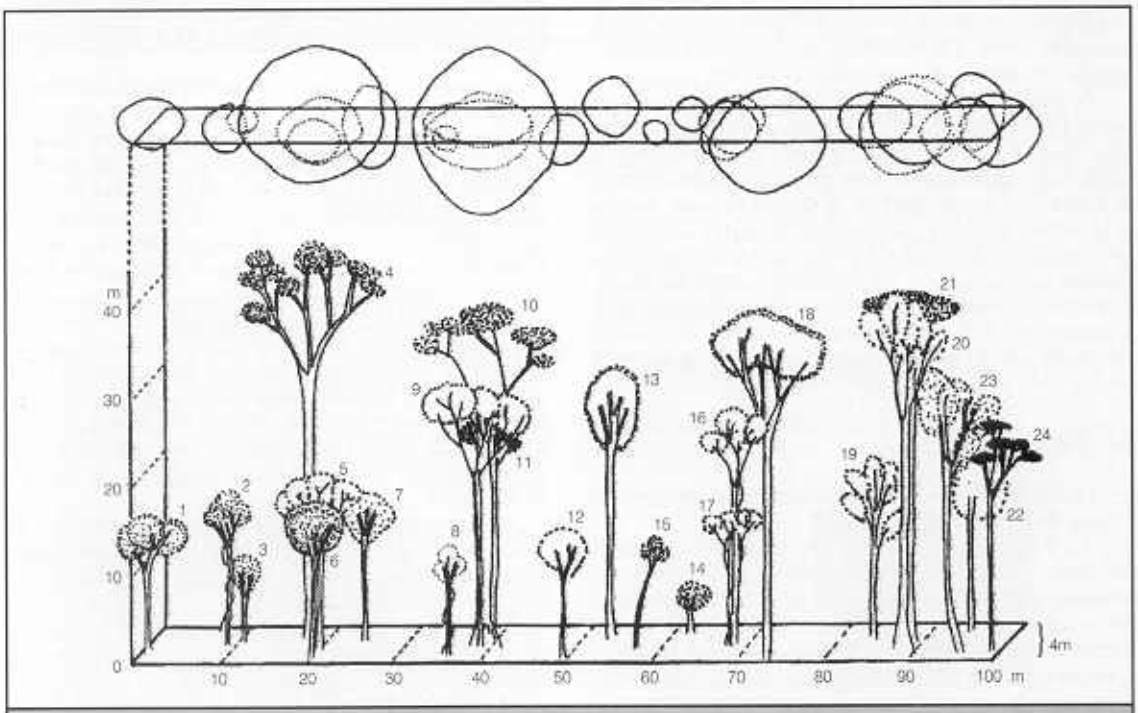


Fig. 3. Perfil fisionómico-estructural de una parcela de Bosque de Tierra Firme en la Estación Científica Ferreira Penna en Caxiuanã (DAP ≥ 10 cm).
1. Emmotun cf. acuminatum; 2. Couratari sp.; 3. Franchetella sp.; 4. Dinizia excelsa Ducke; 5. Tetragastris panamensis (Engl.) O. Kunke; 6. Licania cf. huberii Prance; 7. Franchetella cf. jariensis Pires; 8. Theobroma sericeum Willd.; 9. Protium cf. decandrum (Aubl.) Marchand.; 10. Dinizia excelsa Ducke; 11. Tetragastris panamensis (Engl.) O. Kuntze; 12. Indeterminado; 13. Manilkara amazonica (Huber) Standley; 14. Lacmellea aculeata (Ducke) Monach.; 15. Inga cf. gracilliflora Benth.; 16. Tetragastris panamensis (Engl.) O. Kuntze; 17. Tetragastris panamensis (Engl.) O. Kuntze; 18. Manilkara amazonica (Huber) Standley; 19. Duguetia sp.; 20. Duguetia sp.; 21. Clusia grandiflora Splitz; 22. Ocotea sp. 1; 23. Virola michelii Heckel; 24. Pithecellobium racemosum Ducke. Fuente: Pardi Lacruz (1996), p. 55

desempeño. Después de la clasificación se aplicó la función de uniformización de temas implementada en el SPRING, con la finalidad de eliminar los puntos aislados clasificado, y por consiguiente mejorar visualmente la imagen resultante.

Finalmente, con base en la imagen resultante de la clasificación supervisada se generó la carta temática correspondiente a las unidades de vegetación del área de estudio, a través del módulo SPRINGCARTA del SPRING.

4. RESULTADOS

Basado en el trabajo de campo realizado así como en el tratamiento y la clasificación de la imagen en formato digital, se determinó la leyenda temática a utilizar. Esta leyenda está compuesta por ocho clases temáticas, siendo cuatro de ellas relativas a formaciones vegetales:

- bosque de tierra firme (tres sub-unidades)
- bosque inundado
- bosque de galería (dos sub-unidades)
- vegetación secundaria (dos sub-unidades)
- lago con y sin macrófitas
- agua con y sin sedimentos
- nubes
- sombra de nubes

4.1. Trabajo de campo

A partir de las parcelas muestreadas en campo, se puede dar una breve descripción de las características fisionómicas-estructurales de algunas unidades de vegetación. Así, los bosques de tierra firme presentaron, en general, un alto porcentaje de cobertura de las copas (destacándose de las 20 parcelas muestradas, 4 con valores mayores que 90% y 6 con porcentaje entre 80 y 90 %). En algunas parcelas fue posible destacar un estrato bien definido entre 14 y 17 metros con algunos árboles emergentes. En otros casos, los individuos se presentaban en grupos dejando espacios sin vegetación de porte arbóreo entre los diferentes grupos dentro de una misma parcela. La **Figura 3** muestra un perfil correspondiente a una parcela de bosque de tierra firme.

La parcela de bosque inundado presentó una distribución regular de los individuos con pocas áreas más abiertas, siendo el porcentaje de cobertura igual a 84,79 % y la altura media 16 metros.

La parcelas de vegetación secundaria en fase intermedia presentaron un estrato bien denso, de porte medio con algunos individuos emergentes que llegan hasta los 22 metros de altura y porcentaje medio de cobertura de las copas de 67,89 %. En el caso de la vegetación secundaria en fase avanzada, estas parcelas presentaron un estrato bien definido en los 10 metros y algunos árboles emergentes que llegaron hasta los 28 metros de altura. El porcentaje de cobertura de las copas para estas parcelas fue de 70,68 %.

4.2. Comportamiento radiométrico de las unidades de vegetación discriminadas

A partir de los valores de nivel de gris de las muestras de entrenamiento definidas para las clases de vegetación, se obtuvo el valor medio de cada clase para las bandas utilizadas en la clasificación. Con estos valores se generó

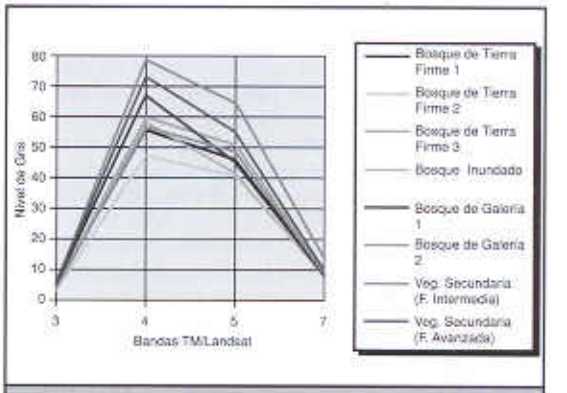


Fig. 4. Comportamiento radiométrico de las unidades de vegetación encontradas en el área de la Estación Científica Ferreira Penna.

un gráfico del comportamiento radiométrico de las clases de vegetación discriminadas **(Figura 4).**

Es importante recordar que cada una de las bandas pasó por un proceso de atenuación de los efectos de la atmósfera, en el cual fue substraído un determinado *offset* a los valores de nivel de gris de cada banda.

Observando la Figura 4, se puede apreciar que el comportamiento radiométrico de las bandas TM 3 y TM 7 es muy próximo, imposibilitando una buena discriminación entre las diferentes clases en estas bandas.

Las diferencias en el comportamiento radiométrico de las coberturas vegetales, están relacionadas con la absorción de la clorofila, el contenido de agua y la estructura de la vegetación, dependiendo de esta última la cantidad de luz que penetra en el dosel y las sombras producidas por los componentes de la vegetación.

La banda TM 3 sufre una gran influencia por la absorción de la clorofila, por consiguiente, las unidades de vegetación verde vigorosa y que cubren totalmente el suelo, tendrán una respuesta espectral baja en esta banda. La respuesta en la banda TM 4 está influenciada por la reflectancia del mesófilo y la absorción de agua. Es de esperar que los tipos de vegetación con mayor biomasa, tengan más estructuras del mesófilo reflejando y consecuentemente una respuesta espectral mayor. Sin embargo, existen otros factores que influencian esta respuesta, como son: la estructura de la vegetación y la geometría de las plantas, las cuales están relacionadas con la cantidad de sombras captadas por el sensor. Una baja respuesta espectral en las bandas TM 5 y 7, está relacionada con una gran cantidad de agua almacenada por los componentes de la vegetación.

En general, los bosques varían espectralmente dependiendo de las características específicas de cada tipología, sin embargo, presentan una baja respuesta espectral en todas las longitudes de onda al ser comparadas con otros tipos de vegetación (Mausel et al., 1993; Brondizio et al., 1994).

Al analizar las curvas correspondientes a bosques de tierra firme, se puede apreciar que las tres sub-unidades presentan el mismo padrón; sin embargo existen pequeñas diferencias espectrales entre ellas, debido a las diferencias existentes en la estructura, composición florística y contenido de humedad fe las mismas. Así, la sub-unidad 2 tiene una estructura más cerrada y

almacena un mayor contenido de humedad que las otras dos sub-unidades.

Al comparar el bosque inundado con las unidades de bosque de tierra firme se puede verificar claramente que existe una semejanza en la estructura del bosque inundado con los bosques de tierra firme 1 y 3. Con respecto al contenido de agua almacenada, el bosque inundado presenta valores muy próximos a los del bosque de tierra firme 2, en las bandas TM 5 y TM 7.

Los bosques de galería tienen características propias muy relevantes. En primer lugar esta unidad de caracteriza por tener un dosel mas uniforme que los bosques de tierra firme, lo cual es fácilmente verificable por la textura lisa con que aparecen en la imagen TM y en las fotografías aéreas. Así, la mayor diferencia entre las dos sub-unidades de bosque de galería, está dada por la biomasa: el bosque de galería 1 tiene una biomasa mayor y por lo tanto una respuesta espectral también mayor en la banda TM 4. Esta mayor biomasa también permite un mayor almacenamiento de agua, lo cual explica la baja respuesta en la banda TM 5, al compararla con la del bosque de galería 2.

Espectralmente fueron discriminados dos clases de vegetación secundaria: una en fase intermedia de desarrollo (vegetación secundaria de 12 años aproximadamente) y la otra en fase avanzada de desarrollo (vegetación secundaria de 20 años o más). Estas dos clases muestran una buena separabilidad entre si y con las clases restantes, presentando los mayores valores de reflectancia de todas las unidades de vegetación analizadas.

La vegetación secundaria en fase intermedia se presenta con una estructura más abierta, mayor espacio entre los individuos y mayor respuesta del sub-bosque, lo que resulta en una alta respuesta en la banda TM 4. Por otro lado, la vegetación secundaria en fase avanzada tiene una estructura más cerrada y por consiguiente, una respuesta espectral media en la banda TM 4 al compararla con la de los bosques de tierra firme o con la vegetación secundaria en fase intermedia.

En general, la vegetación secundaria tiene una biomasa menor que las otras unidades de vegetación analizadas, lo que se refleja en una capacidad menor de almacenamiento de agua, lo que explica la elevada respuesta espectral de estas unidades de vegetación secundaria en la banda TM 5.

4.3. Clasificación de la imagen

A partir de la adquisición de mas de 600 muestras de entrenamiento y de test fue realizada la clasificación de la imagen, utilizando para ello el umbral de aceptación de 95% (este umbral indica el porcentaje de pixels de la distribución de probabilidad considerados en la clasificación).

El desempeño medio (porcentaje de puntos clasificados correctamente) resultante fue 98,82 %, con una abstención media de 0,48 % y la confusión media igual a 0,70 %. Este proceso de clasificación permitió la separabilidad de todas las clases propuestas.

El bosque de galería 2 fue la clase que presentó el desempeño más bajo de las clases de vegetación (88,2 %), debido a la poca extensión continua de esta clase, lo que imposibilitó obtener un número representativo de muestras que alcanzasen el tamaño mínimo (10 pixels) o muestras con poco porcentaje de pixels puros pertenecientes a esta clase.

Las clases restantes de vegetación presentaron desempeños mayores que 90,9 %. En general, la unidad bosque de tierra firme fue la que presentó la mayor dificultad de discriminación, siendo en muchos casos posible la separación de la unidad pero no de las sub-

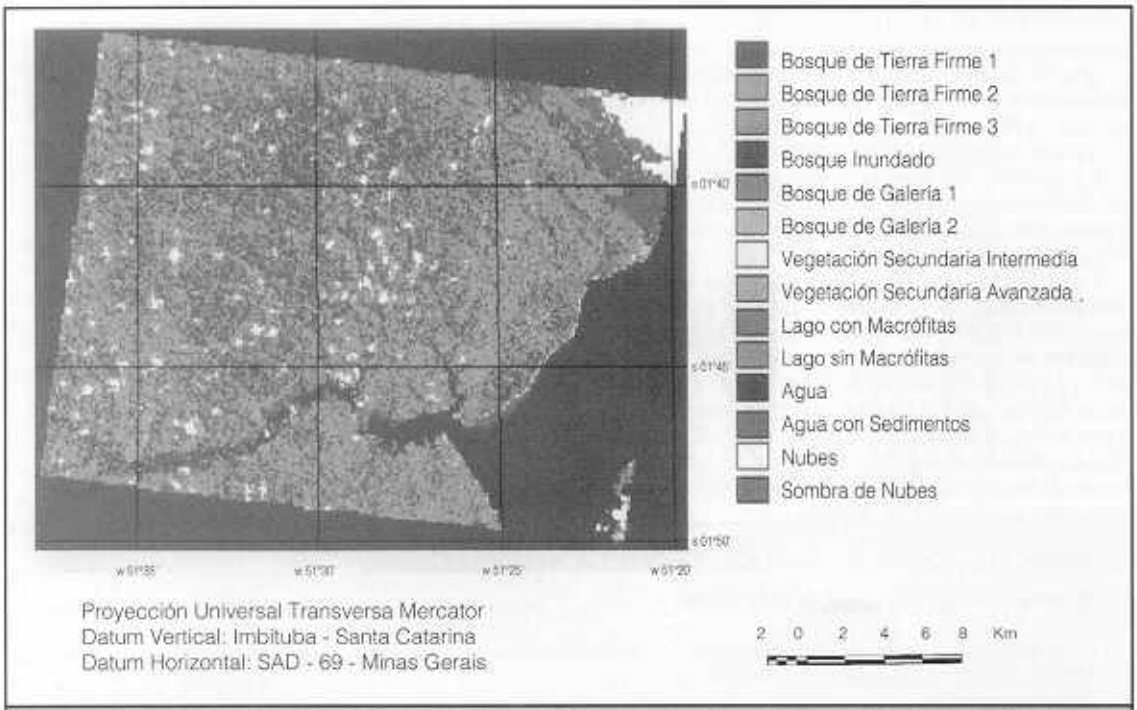


FIG. 5 - Carta de Cobertura Vegetal de la Estación Científica Ferreira Penna en Caxiuanã

unidades que la componen. Por otra parte, el bosque inundado y el bosque de galería 1, así como las sub-unidades de vegetación secundaria, presentaron una buena separabilidad.

4.4. Generación de la carta temática de unidades de vegetación

La carta temática correspondiente a las unidades de vegetación que componen el área de estudio fue elaborada a partir de la imagen resultante de la clasificación según la máxima verosimilitud. De esta manera fue generada una carta a escala 1:100.000 con las unidades de vegetación presentes en el área de la Estación Científica Ferreira Penna en Caxiuana **(Figura 5).** Esta carta permitirá orientar futuras acciones de colecta de datos fisionómico-estructurales necesarios para el conocimiento del paisaje de dicha estación.

5. CONCLUSIONES

A través de los resultados obtenidos, se puede concluir que la metodología de trabajo adoptada se mostró eficiente para la discriminación entre unidades de vegetación de la amazonia. Las técnicas de ampliación lineal de contraste y transformación por componentes principales, fueron las que permitieron una mayor separabilidad entre los rasgos de interés de la imagen y junto con la segmentación, contribuyeron significativamente en la definición de muestras de entrenamiento y test para la clasificación supervisada de la imagen.

Considerando los resultados obtenidos en la clasificación según la máxima verosimilitud, se puede afirmar que las muestras definidas fueron adecuadas tanto en número como en calidad, permitiendo una buena separabilidad entre las clases definidas previamente y una excelente correspondencia con las observaciones de campo y con las fotos aéreas.

La carta temática producida permitirá, de forma eficiente y precisa, orientar el trabajo de inventario y manejo forestal de la Estación Científica Ferreira Penna en Caxiuanã, contribuyendo en la definición de las directrices visando la preservación de la biodiversidad amazónica.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Dr. Pedro L. B. Lisboa por el soporte y apoyo logístico del Museo Paraense Emilio Goeldi en el trabajo de campo; de igual manera agradecen a Carlos da Silva Rosário, Marinaldo Cardoso da Silva, Dirse Clara Kern y Rafael Nacimento Filho, por la valiosa contribución en la colecta de datos e identificación botánica de las especies.

REFERENCIAS

Braga, P. I.S. ***Subdivisão fitogeográfica, tipos de vegetação, conservação e inventário florístico da floresta amazônica.*** *Acta Amazônica (suplemento), 9(4):53-80. Dic. 1979.*

Brondizio, E.S.; Moran, E.F.; Mausel, P.; Wu, Y. ***Land use change in the Amazon estuary: patterns of Caboclo Settlement and landscape management.*** *Human Ecology, 22 (3):249-278. Sep. 1994.*

Hopkins, P.F.; Maclean, A.L.; Lillesand, T.M. ***Assessment of Thematic Mapper imagery for forestry applications under Lake States conditions.*** *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54(1):61-68, Ene. 1988.*

Horler, D.N.; Ahern, F.J. ***Forestry information content on Thematic Mapper Data.*** *International Journal of Remote Sensin~, 7(3):405428, Mar. 1986.*

INPE. ***Manual do SPRING.*** *Versión 1.0. São José dos Campos, 1995. En prensa.*

INPE. ***Levantamento das áreas desflorestadas na Amazônia Legal no período 1991 - 1994:*** *Projeto PRODES. São José dos Campos, Jul. 1996. 10 p.*

Mausel, P.; Wu, Y.; Li, Y.; Moran, E.F.; Brondizio, E. ***Spectral identification of successional stages following deforesation in the Amazon.*** *Geocarto International, 8(4):61-71, 1993.*

Pardi Lacruz, M.S. ***Sensoriemento Remoto e Sistemas de Infommación Geográfica como subsídio para levantamentos fisionômico-estruturais em florestas tropical úmida - Estudo de caso: Estação Ferreira Penna, PA.*** *(Tesis de Maestría en Percepción Remota) -Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Ago. 1996. 106 p. En prensa.*

Pires, J.M. ***Tipos de vegetação da Amazônia.*** *In: O Museu Goeldi no Ano do Sesquicentenário. Belém, Museu Paraense Emilio Goeldi, 1973, p. 179-202 (MPEG. Publicações Avulsas, 20).*

RADAMBRASIL. Folha SA.22. ***Belém: Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Uso Ootencia da Terra.*** *Rio de Janeiro, 1974. (Levantamento de Recursos Naturais, 3)*

Roy, P.S.; Ranganath, B.K.; Diwakar, P.G.; Vohra, T.P.S.; Bhan, S.K.; Singh, I.J. Pandian, V.C. ***Tropical Forest type Mapping and Monitoring Using Remote Sensing.*** *International Journal of Remote Sensing, 12(11):2205-2225, Nov. 1991.*

O ENSINO DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA ESTUDANTES DE I E II GRAUS: O EXEMPLO DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, SP

Tania María Sausen[1], Paulo César Gurgel Albuquerque[1]
Vânia María Nunes dosSantos[2]

1) Ministério da Ciencia e Tecnologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
Divisao de Sensoriamento Remoto, Av. dos Astronautas, 1758,
Cx.P. 515 CEP 12201-970 São José dos Campos, SP, Brasil, e.mail: tania@ltid.inpe.br

2) Prefeitura Municipal de San José dos Santos Secretaria de
Planejamento e Meio Ambiente, Paço Municipal,
São José dos Campos, SP, Brasil

Abstract

This paper explain a program about remote sensing for the I and II levels Brazilian student community in São José dos Campos city, São Paulo state, Brazil, so as to socialize the knowledge. The students applied remote sensing in their regular curriculum for three semesters, where the main concern was environmental preservation. The results of this experience was very successful and the program was extended to Jacareí, Lorena, Monteiro Lobato and Cachoeira Paulista cities.

Keywords: Remote Sensing, Education

1. INTRODUÇAO

Desde a década de setenta, quando foram lançados os primeiros satélites de sensoriamento remoto para recursos terrestres, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE vem desenvolvendo pesquisas nesta área. Atualmente ocupa uma posição privilegiada na America Latina, sendo a maior instituição na área pesquisas espaciais na região, e dentro do cenário mundial tem-se destacado por suas pesquisas relevantes e por fazer parte do restrito grupo de dezessete países que desenvolveram e lançaram seus próprios satélites.

Como fruto desta atuação destacada o INPE sempre teve a preocupação em transferir os resultados de suas pesquisas para os pesquisadores, professores e técnicos de outras instituições. Isto passou a ser feito mais efetivamente a partir da década de oitenta e principalemnte na área de sensoriamento remoto. Esta, por desenvolver metodologias que podem ser aplicadas em uma extensa gama da área de recursos naturais, e portanto de fácil transferencia, vem realizando sistemáticamente cursos de treinamento, de especialização e mestrado, bem como simposios, seminários e workshops para usuários externos.

Com o grande avanço apresentado pela tecnologia nas últimas décadas, principalmente na área da eletronica, foi possivel a criação de sistemas e equipamentos na área das ciências espaciais que passaram a fazer parte do dia a dia do homem. Entre eles podemos citar os satélites de comunicação que tornaram o mundo uma aldeia global e os satélites de recursos terrestres, tais como o LANDSAT e SPOT, que permitiram um amplo conhecimento, mapeamento e monitoramento dos recursos naturais sobre a superficie da terra.

Mas apesar de todos os esforços empreendidos pelo INPE na disseminação das tecnologias espaciais, esta informação é conhecida somente pelas pessoas que estão envolvidas com pesquisas e aplicaçoes nesta área. O cidadão comum tem muito pouco conhecimento sobre o assunto e praticamente não sabe que a ciência espacial faz parte do seu dia a dia, nem sabe da grande influência por ela exercida nos gestos mais corriqueiros. Como recentemente foi mencionado numa reunião de alunos latino americanos, ocorrida no VII Simpósio Latinoamericano de Sensoriamento Remoto (SELPER), no México, em novembro de 1995, "após 23 anos de existencia o sensoriamento remoto orbital ainda é considerado pela maioria da população como algo esotérico, mistico, inatingivel acessivel para apenas alguns privilegiados" quando na realidade ele está ao alcance de todo cidadao interessado na preservação do meio ambiente.

Atualmente percebe-se a necessidade de ampliar a disseminação desta tecnologia pala além do meio científico. A idéia de levar esta informação as escolas de 1° e 2° graus vem ao encontro do desejo de desmistificar este conceito junto ao cidadão comum, tornando-a acessivel a comunidade em geral, uma vez que a criança e o adolescente são cidadãos florescentes e repetidores dos

conhecimentos adquiridos, agindo junto a seus semelhantes ou outros elementos do seu universo de relacionamento, fazendo naturalmente a sua difusão.

2. OBJETIVO

Ao comecarnos a trabalhar com este tema no primeiro semestre de 1993, nossa meta era a dismistificação da ciência espacial como algo inatingivel, bem como preparar novas gerações de cientistas que estejam preocupados com as ciências espaciais, ou seja, preparar sucesores.

Com o desenvolvimento deste programa queriamos destruir o mito de que para ser um cientista espacial é necessario trabalhar na NASA e ser oriundo das classes mais ricas. Queriamos provar que qualquer cidadão pode ter acesso as ciências espaciais e que mesmo as crianças estudando em escolas públicas e modestas, tendo sua formação escolar no proprio municipio podem um dia vir a ser um cientista espacial.

Assim considerando-se que:

- a questão do meio ambiente se faze relevante no nosso cotidiano, e portanto, os estudos sobre inventários dos recursos terrestres, poluição da água e atmosfera, estudos do clima, entre outros se fazem necessários ao planejamento das atividade humanas;
- as atividades espaciais podem contribuir significativarnente para o estudo e monitoramento do meio-ambiente, sendo utilizadas como importante ferramenta para as áreas de planejarnneto sócio-econômico e ambiental, com isto a sua disseminação e fomento junto as escolas de 1° e 2° graus, adquire elevada importancia;
- desta comunidade estudantil sairá o cidadao de amanhã, individuos que deverão ter conhecimento das relações sociedade-meio ambiente, para a tomada de decisões acertadas.

Este programa teve por objetivo geral desenvolver e implantar as formas de comunicação necessárias à consolidação das ciências espaciais junto as instituições de ensino de 1° e 2° graus, visando a socialização do conhecimento sobre o uso e as aplicações das mesmas com vistas a compreensão das relações sociedade meio-ambiente.

Os objetivos especificos foram:

- disseminar a tecnologia de sensorimento remoto entre os alunos de 1° e 2° graus, enfatizando a sua grande utilidade nos estudos de monitoramento e preservação do meio ambiente;
- capacitar educadores de 1° e 2° graus com fundamentos básicos de sensoriamento remoto, para que eles possarn introduzir estes conceitos aos educandos nas diversas disciplinas que fazem parte do conteúdo básico destes niveis de ensino;
- sensibilizar os educandos de 1° e 2° graus para o fato de que eles podem fazer uso de alta tecnologia para o monitoramento e preservação do meio ambiente e de que esta está acessivel ao cidadão comum, seja no seu dia a dia, seja utilizando-a na sua vida profissional futura.
- sensibilizar os educandos de 1° e 2° graus para as questões de conservação e preservação do meio ambiente, sobretudo dos recursos hidricos da região do Vale do Paraíba;

3. METODOLOGIA

Considerando-se a estrutura curricular do ensino de 1° e 2° graus, a infra-estrutura instalada nas escolas e, salientando que o educador do ensino regular está mais inserido no cotidiano educacional, dominando com mais experiencia as técnicas de ensino, propos-se as seguintes premissas para o desenvolvimento do programa:

a) Integrar o educando ao meio em que vive (compreensaõ): levar o educando a conhecer melhor o espaço geográfico em que vive. Quando ele toma conhecimento de este espaço, ele passa a procupar-se mais com seu meio ambiente e tomar ações para preserva-lo.

b) Estimular o educando a refletir sobre a realidade presente (reflexão): introduzir os educandos no mundo das novas tecnologias, trabalhar com os conceitos sobre elas, de forma que eles comecem a perceber que o uso adequado das mesmas pode resultar numa melhoria da qualidade de vida.

c) Levá-lo a aspirar mudanças para uma vida melhor (transformação): esta terceira premissa seria fruto do questionamento já exercido nas etapas anteriores e portanto deveria refletir na tomada de consciência sobre o assunto, a qual deverá orientar decisões e ações rumo as transformações futuras.

Para alcançar esta metas foram desenvolvidas as seguintes atividades:

a) Divulgação do projeto junto as escolas de 1° e 2° graus (públicas e privadas);

b) Identificação, nas escolas dos recurso humanos necessários para a realização do programa:

- Orientador pedagógico ou coordenador: providenciar reuniões entre os professores e alunos para apresentação e discussão do programa; providenciar material necessário para o desenvolvimento do programa; agendar os treinamentos dos professores com os especialistas em sensoriamento remoto e qualidade d'água.
- Articulador da escola: transmitir e executar com os professores as atividades propostas pelo orientador pedagógico; discutir com os professores o temas de cada projeto desenvolvido dentro do programa; participar das reuniões com os professores, especialistas e/ou alunos para orientar o desenvolvimento do programa; organizar e coordenar a exposição ao final do semestre letivo.

c) Identificação na escolas dos recursos materiais necessários para o desenvolvimento do programa,

principalmente o material necessário para a organização da exposição sobre ciência espacial e meio-ambiente ao final do semestre escolar.

d) Preparação do mateiral didático para treinamento dos professores em sensoriamento remoto.

4. RESULTADOS

Este programa foi desenvolvido em tres fases diferentes envolvendo alunos da 5° a 8° série do 1° Grau e alunos do 2º Grau. A primeira fase iniciou com um projeto piloto no segundo semestre de 1993, realizado com duas escolas de 1° e 2° graus de São José dos Campos, SP, uma pública e outra privada, e levou o nome de "Disseminação das Tecnologias Espaciais na Comunidade Estudantil de 1° e 2° Graus".

Para a realização deste projeto piloto foram escolhidas duas escolas totalmente distintas:

- uma escola pública, estadual, localizada na periferia da cidade, num bairro de classe baixa, operária, com população de baixa renda. As crianças são oriundas de familias com nivel instrucional baixo, muitas vezes os pais nao sabem ler nem escrever, e com pouco acesso aos meios de comunicação tais como televisão e jornal. Elas vivem em casas modestas, com poucas opções de lazer e quase nenhum ou nenhum acesso as tecnologias mais sofisticadas. Muitas apresentam problemas de alimentação, vestuário e moradia. A escola tem poucos recursos, tem instalações modestas e depende totalmente do estado para sobreviver.

- a outra escola é privada, está localizada num bairro de classe média alta à alta, portanto as crianças são oriundas de familias com alta renda o que lhes facilita o amplo acesso aos meios de comunicação e computadores. Muitas destas crianças tem o hábito de viajar pelo pais ou mesmo ao exterior e algumas inclusive já moraram em outros paises. Um grande número delas são filhos de pesquisadores do INPE, o que lhes dá alguma familiaridade com as tecnologias mais avançadas. A escola dispõe de excelentes instalações, tem recursos próprios para a realizaçao de todas as atividades bem como uma participação ativa por parte dos pais.

A razão de havermos escolhido duas instituições de ensino tão distintas para a realização deste projeto piloto foi que queriamos verificar se esta metodologia seria aplicável em qualquer tipo de escola, independente das condicões sócio-econômicas dos alunos.

Neste primeira fase o treinamento em sensoriamento remoto foi feito da seguinte forma:

- treinamento da educadora, uma das autoras deste trabalho, em conceitos básicos, histórico, comportamento espectral de alvos, resolução espacial, espectral e temporal, escalas, aplicações de sensoriamento remoto a recursos naturais;

- treinamento dos professores das escolas através da educadora treinada no INPE;

- treinamento sobre metodologia de transferência de conhecimentos cientificos,

- treinamento dos educandos com a participação dos professores e da educadora.

Durante um semestre os conhecimentos sobre ciências espaciais e sensoriamento remoto foram aplicados ao curriculum regular destas duas escolas, para todos os níveis do 1° e 2° Graus.

Como encerramento das atividades, as duas escolas realizaram uma feira sobre Ciências Espaciais Aplicadas ao Estudo do Meio Ambiente.

Os resultados obtidos com este projeto piloto nos motivou a estender as atividades a rede municipal de ensino de São José dos Campos. Assim entramos em contato com a Secretaria de Planejamento e Meio-Ambiete da Prefeitura Municipal de São José dos Campos e com a PETROBRÁS para, em parceria, desenvolvernos a segunda fase do programa. Esta fase foi denominada "Rio Paraíba: As Relações Sociedade-Meio Ambiente e as Atividades Espaciais" e foi desenvolvida no segundo semestre de 1994. Dela tomaram parte 11 escolas da rede municipal de ensino, 4 escolas particulares e 3 estaduais, num total de 45 professores de geografia, ciências e artes e em torno de 1000 alunos da 5° a 8° séries.

O tema principal desta segunda fase foi o rio Paraíba do Sul, alvo de grande interesse na região por seus problemas ambientais bem como por sua influência sócio-econômica na região. O objetivo foi implantar e desenvolver atividades voltadas a compreensão da ocupação e uso do solo no Vale do Paraíba, com vistas à proteção dos seus recursos hídricos, por meio do monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, fazendo uso de dados de satélite e de "kits" de análise de água. Esta fase constou das seguintes etapas:

a) treinamento dos educadores em sensoriamento remoto voltado a preservação do meio ambiente. Os temas abordados foram conceitos básicos de sensoriamento remoto, histórico, noções de comportamento espectral de alvos naturais, resolução espacial, temporal e espectral, aplicações de sensoriamento remoto a agricultura, vegetação, uso do solo, recursos hídricos, impacto ambiental e ocupação racional.

Estes tópicos nortearam o desenvolvimento dos trabalhos com os estudantes nas escolas dentro do curriculum regular do ensino de 1° e 2° graus.

Em função dos resultados obtidos no projeto piloto, constatou-se a necessidade de ampliar e aprofundar o treinamento dos professores, na área de sensoriamento remoto, o que foi feito.

b) os professores receberam também um treinamento por parte da PETROBRÁS de como utilizar "kits" para análise da qualidade d'água do rio Paraíba do Sul. Estes "kits" foram doados pela empresa para serem utilizados pelos estudantes nas escolas como parte do programa.

c) treinamento dos educandos através dos educadores. Quando os professores terminaram seus respectivos treinamentos eles repassaram para os alunos os conhecimentos adquiridos.

Estes receberam os conhecimentos necessários à compreenssão da importância das tecnologias espaciais e sobre o uso e aplicações de dados de sensoriamento remoto e de mapas no estudo e análise do meio ambiente.

Ao final do treinamento os educadores e educandos realizaram trabalhos práticos com as imagens, identificando a rede hidrográfica da área de interesse, além de outros elementos importantes a compreensão do meio ambiente, tais como áreas urbanas, áreas agricolas, rodovias, vegetação, represas, etc.

Foi também realizado uma visita ao Centro de Visitantes do INPE, com o propósito de vivenciar e consolidar os conhecimentos adquiridos durante o treinamento.

d) estudo da qualidade d'água. Inicialmente foi feita a identificação do curso d'água próximo da escola por meio do mapa municipal distribuído, onde foi localizada a escola no bairro e os pontos de coleta de amostras d'água com suas possíveis fontes de poluição. Posteriormente foi feita uma análise das amostras d'água fazendo uso dos kits distribuídos pela PETROBRÁS.

e) ao final do semestre foi realizado o I Seminário Estudantil no Teatro Municpal de São José dos Campos. Este evento foi conduzido pelos alunos que participaram do programa e que discutiram com a sociedade questões sobre a qualidade d'água, a contribuição da ciência espacial no monitoramento do meio ambiente e sobre o papel da própria sociedade neste processo. Na mesma semana foi realizada uma exposição no Vale Desconto Shopping, numa área de 500m². Nesta ocasião as escolas apresentaram os resultados dos trabalhos desenvolvidos pelos alunos no semestre, através de maquetes, painéis, vídeos, fotos, peças teatrais, danças e canções. Um grupo de alunos de uma escola de periferia criou o rap do rio Paraíba, cuja letra abordava os temas poluição d'água, meio ambiente e sensoriamento remoto.

Os stands da exposição foram divididos nos temas agricultura, vegetação, uso do solo, recursos hídricos, impacto ambiental e ocupação racional. Através da pintura das paredes e do chão foi reproduzido, no ambiente da exposição, o vale do rio Paraíba entre a represa de Paraibuna e a cidade de Queluz. Para esta exposição a CESP cedeu aquários com peixes existentes nesta represa, bem como mudas de espécies vegetais existentes na Mata Atlântica, com isto foi possível reproduzir-se o ambiente onde está instalada a represa de Paraibuna.

Com a ajuda de estagiários do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Taubaté, foi feita uma maquete do Vale do rio Paraíba, porção paulista, que na exposição estava ao lado de duas imagens TM/LANDSAT, uma na escala 1:100.000 abrangendo todo o vale e outra na escala 1:50.000 da cidade de São José dos Campos. Com isto queríamos dar uma visao geral da região e da cidade para os frequentadores da exposição.

No stand do INPE, os visitantes foram recebidos por um dos alunos que participaram do programa. Este aluno apresentou uma aprendizagem excepcional sobre temas referentes a sensoriamento remoto, estando apto a fornecer explicações as pessoas que se dirigiam ao stand.

No último dia da exposição houve a chegada do Papai Noel ecológico, vestido com roupa verde, a borda de uma réplica do Satélite Brasileiro de Coleta de Dados-SCD1.

Esta exposição foi o evento que inaugurou o Vale Desconto Shopping.

A partir dos excelentes resultados alcançados na segunda fase do programa, a prerfeitura municipal de São Jose dos Campos decidiu estende-lo para outras cidades do vale. Assim, na terceira fase, desenvolvida no primeiro semestre de 1995, tomaram parte 3 escolas de Jacareí, 2 de Monteiro Lobato, 1 de Cachoeira Paulista, 1 de Lorena e 34 de São José dos Campos.

Paralelamente a prefeitura transformou este programa em um "Programa de Educação Ambiental Permanente - O rio Paraíba: As relações Sociedade-Meio Ambiente e as Atividades Espaciais".

Esta última fase teve como objetivo a compreensão das relações sociedade-meio ambiente no monitoramento da bacia do rio Paraíba do Sul, fazendo uso de dados de sensoriamento remoto.

O treinamento dos educadores foi feito em São José dos Campos e em Cachoeira Paulista, tendo sido ampliado o seu tempo de duração para quatro dias, o que permitiu que se abordasse os temas em maior profundidade. Os professores receberam treinamento sobre:

- sensoriamento remoto I e II - conceitos básicos, histórico, resoluções espectral, temporal e espacial, comportamento espectral de alvos, seleção de dados;
- sensoriamento remoto III e IV - aplicações de sensoriamento remoto a agricultura, uso do solo, vegetação, áreas urbanas e recursos hídricos, interpretação visual de imagens, como ensinar sensoriamento remoto para os alunos, aspectos legais do sensoriamento remoto, noçoes de cartografia, elaboração e leitura de mapas;
- questões ambientais e recursos htdricos,
- questões ambientais e metodologias para transferência de conhecimentos cientificos.

Para este treinamento foram confeccionados módulos de imagens, na escala 1:50.000, das cidades que tomaram parte no programa, o que facilitou o ensino da interpretação visual, pois ele foi baseado na identificaçao e localização de pontos conhecidos do município, facilmente localizáveis nas imagens.

Como encerramento das atividades do semestre foi organizada a I Gincana Estudantil Regional, cujas atividades abordavam aspectos de sensoriamento remoto e meio ambiente, tais como:

- desenhar toda a rede hidrográfica do município contida na imagem a qual referenciará todas as outras tarefas.

- fotografar uma região do rio Paraíba do Sul, no seu município onde a mata ciliar esteja preservada. Pede-se que o local seja identificado na imagem e em uma carta topográfica 1:50.000 e descrita a sua vizinhança e paisagem do local.

- traer um especialista em sensoriamento remoto para falar sobre a utilidade desta tecnologia para o estudo do meio ambiente, etc.

Da gincana tomaram parte todas as escolas cadastradas no programa e ela foi realizada na Semana Mundial do Meio Ambiente (05 a 11 de junho). As tarefas foram distribuidas as escolas no inicio da semana e deveriam ser apresentadas no último dia. Do juri da gincana tomaram parte representantes do INPE, Secretaria Municipal de Educação e do Planejamento e Meio Ambiente e PETROBRÁS. Tomaram parte deste evento cerca de 400 alunos das 5° e 8° series de 1° Grau e alunos do 2° Grau.

Além da apresentação das atividades realizadas pelas equipes participantes da gincana, foram apresentados shows musicais, peças teatrais e palestras de diversos especialistas ligados a área ambiental.

O encerramento da gincana foi realizada no estacionamento do Center Vale Shopping em São José dos Campos, e teve ampla divulgação na imprensa local.

5. CONCLUSÕES

Durante o desenvolvimento deste programa pode-se chegar as seguintes conclusões:

- o ensino de sensoriamento remoto para estudantes de 1° e 2° Graus é viavel, desde que se leve em consideração que no 1° Grau ele deve ser voltado para alunos da 5° a 8° séries. Os alunos da 1° a 4° séries não tem ainda uma base educacional suficiente para assimilar as informações sobre esta tecnologia;

- os alunos apresentararn grande interesse pela aprendizagem de sensoriamento remoto voltado ao meio ambiente, foi possível observar que através das imagens pela primeira vez os estudantes estavam tendo uma visão sinópitca da regiao em que vivem e com isto compreender com maior facilidade a interdependencia dos fenomenos ambientais;

- o maior problema enfrentado para o desenvolvimento do programa é o grande despreparo dos professores do 1° e 2° Grau. Este foi um obstáculo dificil de ser superado, pois a maioria tem uma formação muito deficiente e não se preocupam em ampliar ou reciicar os seus conhecimentos;

- por mais surpreendente que possa parecer, em muitas ocasiões as crianças aprendiam sensoriamento remoto com muito mais facilidade do que os professores, pois para eles isto era entendido como um novo desafio. Os professores além da deficiencia de preparação apresentavam uma resistencia muito grande a qualquer inovação. A atitude mais comum por eles apresentadas era a de enfrentar os treinamentos como mais uma obrigação a cumprir, apesar de a grande maioria achar que era muito interessante introduzir sensoriamento remoto nas escolas.

Para o ano de 1997 pretendemos entrar em uma nova fase do programa que deverá se caracterizar por atividades mais direcionadas aos professores de geografia. Em função dos resultados das avaliações feitas durante o transcorrer do programa, optou-se por trabalhar com um grupo menor de educadores, apenas os de geografia, para que se pudesse aprofundar os conhecimentos de sensorimaento remoto nas escolas de 1° e 2° Graus. Estes educadores trabalham diretamente com aspectos da paisagem, localização e recursos naturais, por esta razão achamos que será mais fácil introduzir os conceitos de sensoriamento remoto nas escolas, se fizermos um boa preparação dos professores de geografia. Com isto poderemos trabalhar com maior cuidado na elaboração do material didático e no treinamento dos professores e introduzir os conceitos básicos de sensoriamento remoto aplicado a recursos naturais conforme o curriculum regular de geografia.

Assim pretende-se criar uma metodologia para o ensino de sensoriamento remoto para estudantes de 1° e 2° Graus, fazendo uso da disciplina de geografia, caso tenhamos sucesso, poderemos estende-la para a disciplina de ciências.

RELAÇÕES ENTRE ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (LAI), ÁREA BASAL E ÍNDICE DE VEGETAÇÃO (NDVI) EM RELAÇÃO A DIFERENTES ESTÁGIOS DE CRESCIMENTO SECUNDÁRIO NA FLORESTA AMAZÔNICA EM RONDÔNIA

Silvana Amaral[1], João Vianei Soares, Diógenes Salas Alves[1]
Eliana M.Kalil de Mello[2], Sérgio A.S. Almeida [1]
Osman F. da Silva[1], Andréa Maria Silveira[3]

[1,2]INPE-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515, 12201 São José dos Campos, SP, Brasil
[1][silvana, dalves, eliana, sergio|osman@dpi.inpe.br
[2][vianei, osman]@ltid.inpe.br
[3]CENA - Centro de Energia Nuclear na Agricultura - USP
Av. Centenário 303, CEP 13416-970, Piracicaba, SP, Brasil
andrea@pintado.ciagri.usp.br

Abstract

This work presents some preliminary results from the study of regeneration sites in the tropical forest in Rondonia-BR. Leaf Area Index (LAI) and Basal Area were measured in second-growth areas with 2,3,5,8,12,and 18 years since abandonment. TM/Landsat image was used to generate a NDVI image and from which were extracted the values refered to each study site. The results showed a logaritmical relationship between age and the parameters LAI, basal area and NDVI, indicating a faster growth of the vegetation during the first 8 years. LAI were linearly correlated to basal area suggesting that it could be used as a reference to the biomass of different successional stage.

Keywords: Tropical rain forest, secondary regeneration, LAI, NDVI.

1. INTRODUÇÃO

No processo de ocupação da Amazônia brasileira ocorre o aparecimento de áreas abandonadas, uma vez que após o corte e queima da floresta primária e utilização para agricultura e pecuária, estas áreas são abandonadas por diferentes períodos até que sua utilização faça-se novamente necessária.

Estima-se que cerca de 30% das florestas tropicais são atualmente áreas de floresta em regeneração secundária (Brown e Lugo, 1990). Além do potencial para exploração comercial destas áreas como madeira para construção, espécies de importância farmacêutica, madeira para fogo e outros usos, as florestas secundárias são de importância fundamental para recuperação da fertilidade do solo, regularização do regime hidrológico, manutenção da diversidade animal e vegetal (Brown e Lugo, 1990), e ainda para captura do dióxido de carbono da atmosfera (Detwiler e Hall, 1988), que deve ser considerada nos estudos de mudanças e ciclagem global de nutrientes.

Projetos como o "Large Scale Atmosphere Biosphere Amazon Experiment", LBA, tem como um de seus objetivos mais entender o papel das florestas secundárias na ciclagem de carbono na atmosfera.

Este trabalho faz parte do projeto "Long Term Monitoring of the Amazon: From patterns to Processes", EOS, do INPE. São apresentados resultados preliminares de um trabalho de campo realizado em Rondônia em setembro de 1995 em áreas de ocupação antrópica entre Ariquemes e Ji-Paraná*. Neste trabalho preliminar, ênfase é dada às relações obtidas entre as variáveis LAI e área basal estimadas no campo e imagem índice de vegetação (NDVI) obtida da imagem TM/Landsat para áreas de regeneração em diversos estágios (idade).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Após a retirada da cobertura florestal original e com a perda da fertilidade do solo após alguns anos de uso, instala-se um processo de recolonização da área por espécies adaptadas a esta condição (ervas daninhas entre outras), que são substituídas ao longo do tempo num

*Financiado pela FAPESP, processo 95/2432-5

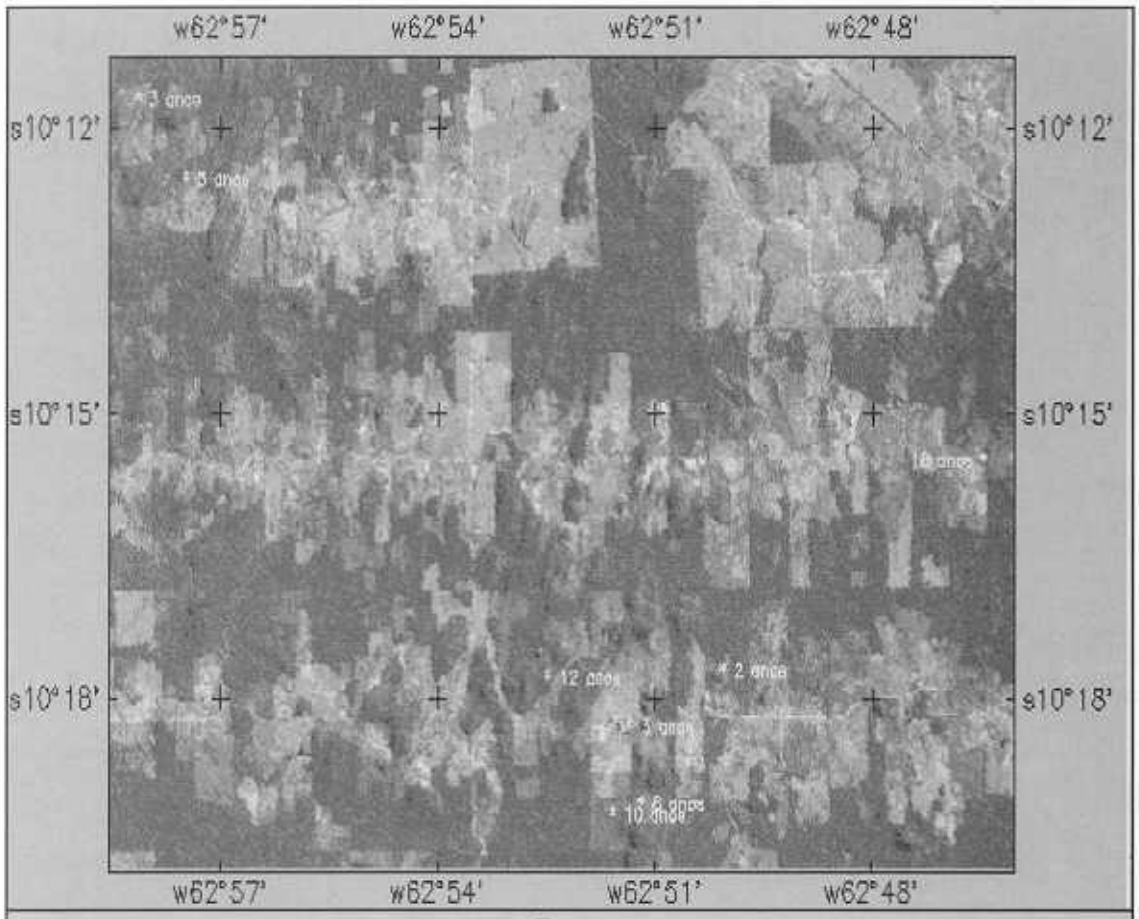


Figura 1.
Localização das áreas de regeneração secundária.

processo conhecido por sucessão secundária. Nos primeiros 12 a 15 anos de regeneração a biomassa foliar atinge um valor máximo e depois sofre um leve decréscimo (Brown e Lugo, 1990). A quantificação da biomassa total da floresta secundária é importante na estimativa do ciclo de carbono na região.

O índice de área foliar é outro parâmetro importante para estudos de estrutura da vegetação secundária, uma vez que está associado à processos físicos como evapotranspiração, fluxos de CO_2 e água e interceptação da luz. McWilliam et al. (1993), registraram valores de LAI de 5,7 para floresta e 1,2 para áreas de floresta recém cortadas.

Existem várias técnicas para medir LAI como medição direta por método destrutivo, uso de fotografias hemisféricas ou aparelhos que medem a quantidade de radiação interceptada pela superfície (ceptômetro). Honzak et al. (1995) obtiveram uma relação entre biomassa total e LAI com r=0.61 e nível de significância de 95%, sugerindo que estimativas de biomassa podem ser obtidas para áreas de regeneração secundária de até 30 anos, explorando-se a relação com LAI.

Dentre os índices de vegetação comumente citados na literatura, o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) é o mais freqüentemente utilizado, inclusive para atividades de monitoramento global (Sellers et al, 1994). A relação entre NDVI e parâmetros estruturais da vegetação, como LAI e biomassa, para áreas em sucessão secundária mostrou-se melhor associado a áreas de início de sucessão, onde encontra-se valores mais baixos de biomassa (Sader et al., 1990).

3. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está compreendida entre as coordenadas 63°00' e 62°45' de longitude oeste e 10°30' e 10° 09' de latitude sul, no município de Cacaulândia e Ariquemes, Rondônia. Constitui área de terra firme com relevo suave-ondulado e de ocorrência de floresta ombrófila aberta submontana. A região é um mosaico que inclui mata primária remanescente, áreas em sucessão secundária e de ocupação agropastoril.

As áreas de regeneração secundária foram previamente identificadas na análise da série temporal de imagens TM/Landsat de 1990 a 1994 e localizadas no campo a posteriori (figura 1). O tempo de abandono e manejo de cada uma das áreas foram confirmados junto aos proprietários das terras. Foi identificado um total de 8 áreas que haviam sido abandonadas há 2, 3, 5, 8, 10, 12 e 18 anos, ou seja, nenhum corte, queima ou manejo foi realizado desde então.

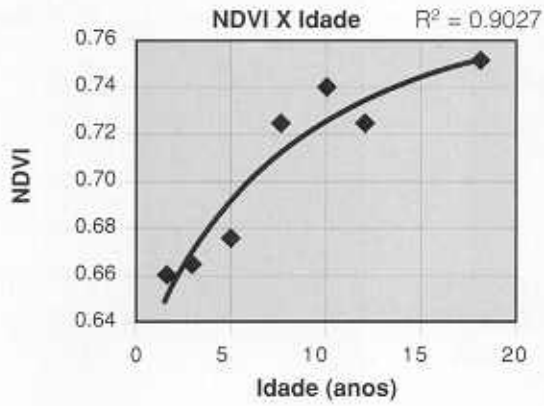


Figura 2.

Relação entre NDVI e idades de capoeira

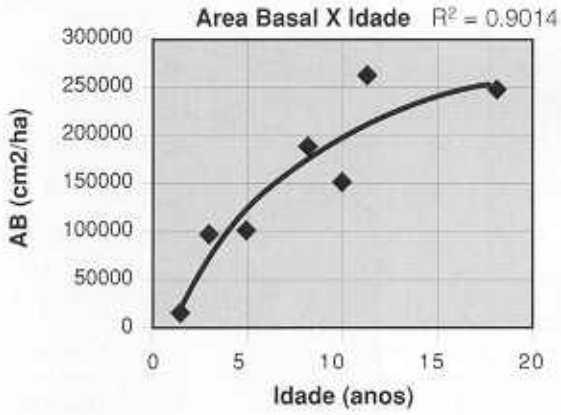


Figura 3.

Relação entre Área Basal e idades de capoeira

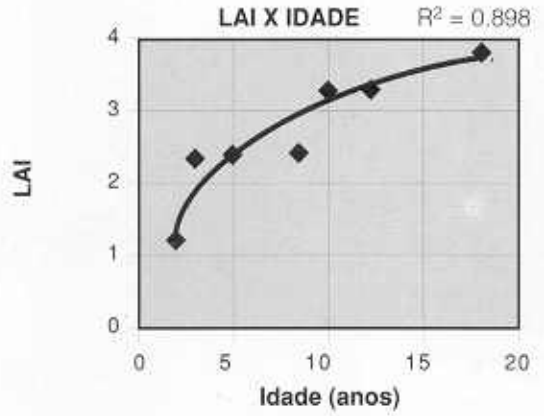


Figura 4.

Relação entre LAI e idades de capoeira

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Parcelas de 10 x 100m foram definidas para cada uma das áreas de regeneração secundária compreendendo porções homogêneas da capoeira. Nestas parcelas, todos indivíduos arbóreos de diâmetro na altura do peito (DAP) maior que 5 cm foram inventariados. Para este trabalho apenas os dados referentes ao DAP foram utilizados, com os quais foram calculados os valores de área basal para cada área.

O Índice de Área Foliar foi obtido através do *LAI2000 Plant Canopy Analyser - LICOR*, utilizando-se dois

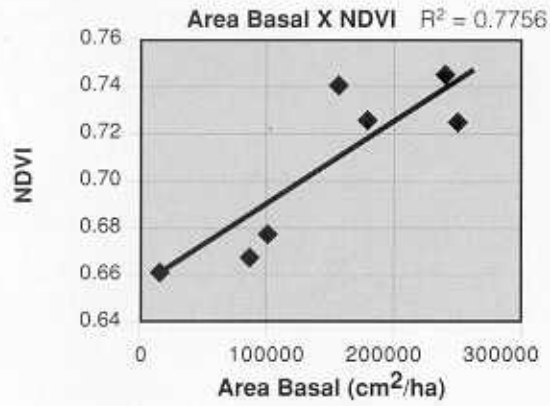


Figura 5.

Relação entre Área Basal e NDVI.

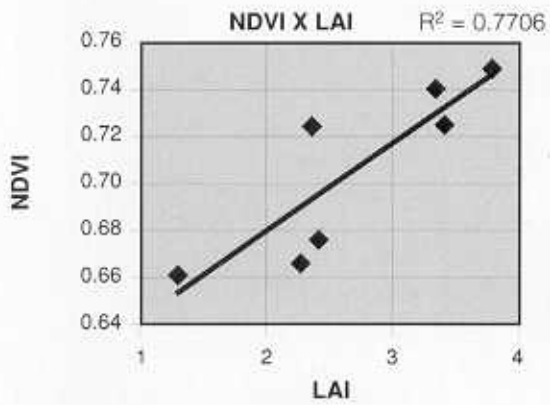


Figura 6.

Relação entre NDVI e LAI

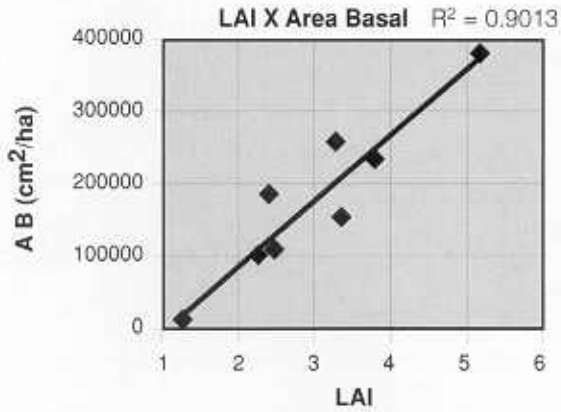


Figura 7.

Relação entre Área Basal e LAI

sensores: um de referência, adquirindo amostras em áreas de clareira, e outro utilizado para amostrar as parcelas. Foram realizadas 50 medições de LAI para cálculo do valor médio de cada parcela, utilizando um ângulo de visada de 180 graus.

A imagem TM/Landsat de 15/07/1994 foi utilizada para o cálculo do Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI). Não se dispôs para esta análise de imagem de 1995, o que atribui um caráter preliminar a este trabalho. As bandas 3, 4 e 5 da imagem acima citada foram

georeferenciadas para a projeção UTM, transformadas para valores de reflectância aparente (conforme proposto por Markham e Baker, 1986) , e as bandas 3 e 4 com valores de reflectância aparente foram utilizadas para gerar o índice de vegetação.

Os parâmetros LAI, idade, área basal e NDVI foram plotados e submetidos a análise de regressão linear ou logarítmica de acordo com a tendência observada.

5. RESULTADOS

Ao avaliar LAI, NDVI e Área Basal em relação à idade das capoeiras observou-se uma tendência logarítmica para todas as plotagens, com os valores de R^2 indicando um bom ajuste entre as curvas, com valores da ordem de 0.90 **(figuras 2, 3 e 4).** Investigando-se a relação das combinações entre LAI, NDVI e área basal, verificou-se serem elas lineares com R^2 entre 0.77 e 0.90 **(figuras 5, 6 e 7).**

A regressão entre NDVI e idade para as capoeiras amostradas indicam uma tendência de crescimento logarítmico do NDVI ao longo da sucessão. Os resultados apresentados por Yanasse et al (1995) apresentam uma tendência crescente dos valores de NDVI de 0 a 6 anos e decrescente após 6 anos de regeneração (NDVI máximo obtido 0.73), até o valor para mata primária (NDVI = 0.69).

O valor de NDVI obtido neste estudo para mata primária foi de 0.77, confirmando a tendência de crescimento logarítmico do NDVI, sem indicativos de decréscimo.

Os valores de área basal e LAI também apresentaram relação logarítmica com a idade, indicando um incremento anual maior da vegetação durante os primeiros (8) anos de sucessão. Brown e Lugo (1990) também obtiveram uma relação logarítmica entre idade e biomassa de folhas e lenho, sendo que apenas após 20 anos observa-se a estabilização da curva. A avaliação da biomassa das áreas analisadas permitirá uma comparação direta dos dados, complementando esta discussão.

Da análise dos gráficos de NDVI versus área basal e NDVI versus LAI, observa-se que uma relação linear pode ser estabelecida com valores de $R^2 = 0.77$, para as duas regressões. Estes resultados estão além da expectativa ao se considerar por exemplo um coeficiente de correlação 0.234 entre LAI e NDVI e de 0.344 entre NDVI e biomassa (acima da superfície) obtidos por Box et al. (1989) ao avaliar a precisão do NDVI para estimativa de biomassa e produção primária. Tem-se aqui uma indicação clara de que NDVI é um bom indicador da biomassa de capoeiras em estágios iniciais de sucessão, ainda que se trate de uma análise preliminar.

A relação obtida para a regressão entre área basal e LAI, com R^2 de 0.90, indica que o índice de área foliar pode ser um bom estimador da área basal em áreas de regeneração secundária e indiretamente da biomassa. Este resultado indica que, ao se trabalhar ao nível de comunidade de plantas, medidas de LAI podem ser usadas como estimadores de biomassa. Entretanto é necessário que o número de amostras seja ampliado. Ademais, uma calibração daquela relação para diferentes regiões da Amazônia pode tornar a medida de LAI um estimador mais robusto para biomassa de capoeiras.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir desta análise preliminar dos dados conclui-se que:

- relações logarítmicas foram observadas para LAI, Área Basal e NDVI em relação à idade das áreas secundárias;
- as relações do índice de vegetação NDVI com os parâmetros estruturais da vegetação devem ser melhor exploradas, ampliando-se o número de amostras para cálculo do índice e verificando-se as relações com outros índices de vegetação., como GEMI conforme sugerem Goel e Qin, (1994);
- a relação entre LAI e Área Basal indica o índice de área foliar como um bom preditor dos parâmetros estruturais da vegetação secundária.

REFERÊNCIAS

Box, E.O., Holben, B.N., Kalb, V. **Accuracy of the AVHRR Vegetation Index as a predictor of biomass, primary productivity and net CO2 flux"** *Vegetatio 80 (1989):71-90.*

Brown, S., Lugo, A.E. **Tropical secondary forests** *Journal of Tropical Ecology 6 (1990): 1-32.*

Detwiler, R.P., Hall, C.A.S. **Tropical forests and the global carbon cycle** *Science, 239 (1988), 42-47.*

Goel, N.S., Qin, W., **Influences of canopy architeture on relationships between various vegetation indices and LAI and FPAR: a computer simulation,** *Remote Sensing Reviews 10 (1994), 309-347.*

Honzak, M., Foody, G.M., Lucas, R.M., Curran, P.J., do Amaral, I. and Amaral, S. **Estimation of the leaf area index and total biomass of regenerating tropical forest: A comparision of methodologies.** *In Gash, J.H.C., Nobre, C.A.,Roberts, J.M., Victoria, R.C. (eds) Amazonian Deforestation and Climate. John Wiley and Sons, Chichester (1996) (in press).*

Markham, B.L., Baker, J.L. **Landsat MSS and TM Post-Calibration Dynamix Ranges, Exoatmospheric Reflectances and At-Satellite Temperatures,** *Landsat Technical Notes" 1, 3-5, (1987).*

McWilliam, A.L.C., Roberts, J.M., Cabral, O.M.R., Leitão, M.V.B.R., Costa, A.C.L., Maitelli, G.T., Zamparoni, C.A.G.P. **Leaf area index and above-ground biomass of terra firme rain forest and adjacent clearings in Amazonia** *Functional Ecology 7, (1993), 310-317*

Sader, S.A., Waide, R.B., Lawrence, W.T., Joyce, A.T., **Tropical forest biomass and succesional age class relationship to a vegetation Index derived from Landsat TM data,** *Remote Sensing of Environment 28(2): (1989), 143-156.*

Sellers, P.J., Los, S.O., Justice, C.O., Tucker, C.J. **A global 1 by 1 NDVI data set for climate studies. Part 2: The generation of global fields of terrestrial biophysical parameters from NDVI,** *International Journal of Remote Sensing 15 (1994), 3519-3548.*

Yanasse, C.C.F., Sant'Anna, S.J.S., Frery, A.C., Kuplich, T.M., Dutra, L.V. **Mapeamento de etapas de regeneración y su relación con datos de radar,** *Simpósio Latinoamericano de Percepción Remota VII (1995) 542-553 (Memorias - SELPER).*

1ST WORKSHOP ON EDUCATION IN REMOTE SENSING MERCOSUL WIDE

Camboriú, SC, Brazil, May 20 - 23, 1997

1ª JORNADA DE EDUCAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO NO ÂMBITO DO MERCOSUL

Brasil, 20 a 23 de maio de 1997

Marambaia Cassino Hotel - Balneário Camboriú, SC

ORGANIZAÇÃO E APOIO

ORGANIZATION AND SPONSORING

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

UNIVALI
Universidade do Vale do Itajaí
Faculdade de Ciências do Mar

DAIS M.O.S.P.

The United Nations University

ISPRS INTERNATIONAL SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING

esa

INFORMAÇOES / INFORMATION: INPE - DSR - Av. dos Astronautas 1758. Jd. de Granja - 12227 - 001. São José Dos Campos, SP, Brasil. Fone: (55.12) 325.6068 - Fax: (55.12) 325.6094. E-mail: tania@ltid.inpe.br

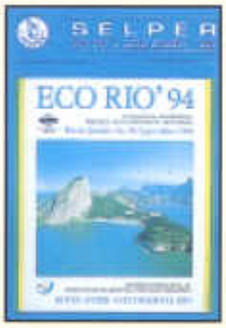
DESPEDIDA A NUESTRO MEJOR MIEMBRO

DR. ROBERTO PEREIRA DA CUNHA (†)

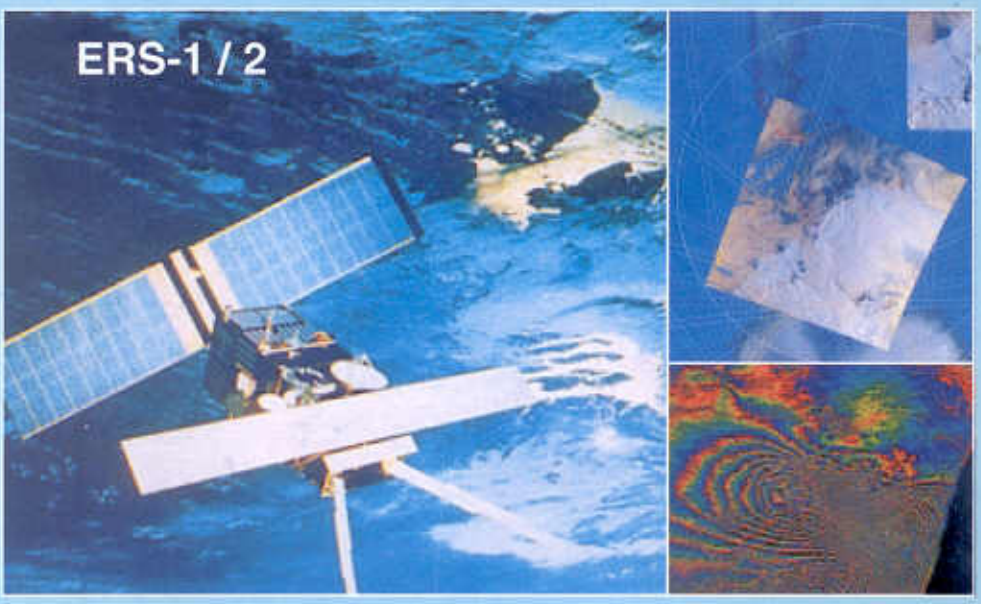
Subdirector de Asuntos Internacionales, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, Brasil)

Presidente SELPER (1986-1989), Director Asuntos Internacionales SELPER (desde 1990)

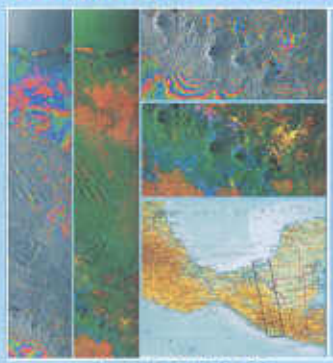
Presidente ISPRS T.C. VII (1992-1996)



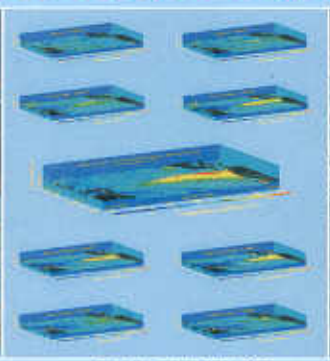
Roberto nació el 30 de mayo de 1950 y falleció(†) el 19 de noviembre de 1997. El fue un brillante profesional y excelente amigo en todas las instituciones donde trabajó: INPE, SBC, SELPER, ISPRS. Todos los que le conocimos, siempre recordaremos su amistosa sonrisa, optimismo y esfuerzo positivo para solucionar cualquier problema y promover la amistad y cooperación internacional. Estamos seguros que Roberto está en la Gloria de Dios y que ciertamente nos encontraremos nuevamente. En el intertanto, seguiremos trabajando para mantener vivo su sueño de cooperación mundial. Su familia y amigos estamos orgullosos de haber compartido muchos años con Roberto(†).



ESA promueve el desarrollo y la cooperación internacional



Revista SELPER 1996



Revista SELPER 1997

Revista SELPER 1998

esa
european space agency
agence spatiale européenne

ESA - ESRIN
Via Galileo Galilei,
Casella Postale 64,
00044 Frascati (Roma),
ITALIA
Tel: (39.06) 94180.1
Fax: (39.06) 94180.280.
Att: Sr. Maurizio Fea (América Latina)

ESA - Asuntos Internacionales
8-10 rue Mario Nikis,
75738 PARIS Cedex 15, FRANCIA
Tel: (33.1) 5369.7443, Fax: (33.1) 5369.7627
Att: Sra. Valerie Hood (América Latina)

REVISTA - JOURNAL SELPER

VOL. 13, Nº 1-2, 1997

ECUADOR 1980 - 1983 | CHILE 1983 - 1986 | BRASIL 1986 - 1989 | ARGENTINA 1989 - 1991 | PERU 1991 - 1993 | COLOMBIA 1993 - 1995 | MEXICO 1995 - 1997 | VENEZUELA 1997 - 1999